



ANÁLISE DE EVACUAÇÃO DE NAVIOS DE CARGA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO A PARTIR DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL BASEADA EM FATORES HUMANOS

Andrea Rozendo Moreira dos Santos

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Oceânica.

Orientadores: José Marcio do Amaral Vasconcellos

Antônio Carlos Fernandes

Rio de Janeiro

Outubro de 2018

ANÁLISE DE EVACUAÇÃO DE NAVIOS DE CARGA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO A
PARTIR DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL BASEADA EM FATORES HUMANOS

Andrea Rozendo Moreira dos Santos

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA OCEÂNICA.

Examinada por:

Prof. José Marcio do Amaral Vasconcellos, D.Sc.

Prof. Antônio Carlos Fernandes, D.Sc.

Prof. Julio Cesar Ramalho Cyrino, D.Sc.

Prof. Gilberto Bruno Ellwanger, D.Sc.

Prof. Raad Yahya Qassim, D.Sc.

Prof. Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 2018

Santos, Andrea Rozendo Moreira dos

Análise de Evacuação de Navios de Carga em Situação de Incêndio a Partir de Simulação Computacional Baseada em Fatores Humanos/ Andrea Rozendo Moreira dos Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XIV, 122 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: José Marcio do Amaral Vasconcellos

Antônio Carlos Fernandes

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Oceânica, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 115-118.

1. Análise de Evacuação. 2. Navios de Carga. 3. Incêndio. 4. Simulação Computacional. 5. Fatores Humanos. I. Vasconcellos, José Marcio do Amaral *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Oceânica. III. Título.

AGRADECIMENTOS

A Marcia Almeida pelo encorajamento ao início desta pesquisa e viabilização da melhor orientação que este trabalho poderia receber.

Ao Professor José Marcio do Amaral Vasconcellos não apenas por compartilhar tão generosamente seu amplo conhecimento e vasta experiência profissional, mas também por toda paciência ao demonstrar dia após dia a dádiva de se imprimir com tranquilidade o ritmo da vida.

Aos colegas engenheiros David Leonardo Lencastre Sicuro, Gerardo Portela da Ponte Junior e Miguel Renato Manco Rivera por compartilharem as experiências adquiridas ao desenvolverem suas brilhantes teses de doutorado de maneira sempre extremamente atenciosa.

Ao engenheiro Phil York e a equipe da Brookes Bell Group pela confiança no potencial desta pesquisa permitindo a utilização do software de evacuação ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo Allan Higgin, diretor comercial da OLDENDORFF CARRIERS Trinidad & Tobago Limited por todas as informações gentilmente cedidas em relação a navios de carga.

Ao engenheiro Mario Cesar Vidal pelos ensinamentos em relação à ergonomia e fatores humanos, e extremo carinho ao me acolher em seu laboratório – Grupo de Ergonomia e Novas Tecnologias (GENTE).

A equipe de apoio à tecnologia da informação do Laboratório de Educação Continuada (LABECO), Pedro Rosa, Raphael Silva e Maiko de Souza por todo suporte técnico.

Às dezenas de profissionais da cadeia produtiva naval entrevistados ao longo desta pesquisa pelas valiosas informações tão gentilmente fornecidas.

Aos meus pais e filhas pelo incansável incentivo neste e em todos os empreendimentos da minha vida.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

ANÁLISE DE EVACUAÇÃO DE NAVIOS DE CARGA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO A PARTIR DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL BASEADA EM FATORES HUMANOS

Andrea Rozendo Moreira dos Santos

Outubro/2018

Orientadores: José Marcio do Amaral Vasconcellos

Antônio Carlos Fernandes

Programa: Engenharia Oceânica

Ao longo da história, acidentes em alto mar envolvendo elevados percentuais de vítimas fatais demonstraram que uma evacuação eficaz é a última linha de defesa para evitar resultados catastróficos. O crescimento do número de navios de passageiros com capacidade para milhares de pessoas conduziu as questões relacionadas à evacuação para o centro das atenções do setor naval. Há quase duas décadas que a garantia de tempo suficiente para que pessoas embarcadas em navios de cruzeiros possam ser evacuadas com segurança é exigida por norma. Entretanto, essa certificação não é requerida para navios de transporte de cargas da marinha mercante, ainda que o desenvolvimento da indústria petrolífera e a globalização tenham produzido significativo aumento do número de mortes em acidentes envolvendo este tipo de embarcação.

Pretende-se demonstrar através desta pesquisa que modelos computacionais já existentes e amplamente utilizados em navios de passageiros, podem ser adaptados para aplicação em navios de carga, auxiliando a avaliação de riscos e o complexo processo decisório inerente à evacuação em situações de emergência. Ao longo deste documento, ficará evidenciado que o desenvolvimento de normas específicas para navios de carga, com orientações em relação às análises de evacuação ainda na fase de projeto pode ser suportado por softwares de última geração disponíveis no mercado, preconizando-se a prevenção ante a mitigação.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.).

EVACUATION ANALYSIS OF CARGO SHIPS IN FIRE SITUATION FROM COMPUTATIONAL SIMULATION BASED ON HUMAN FACTORS

Andrea Rozendo Moreira dos Santos

October/2018

Advisors: José Marcio do Amaral Vasconcellos

Antônio Carlos Fernandes

Program: Ocean Engineering

Throughout history, offshore accidents involving high percentages of fatalities have shown that an effective evacuation is the last line of defense to avoid catastrophic results. The growth in the number of passenger ships with capacity for thousands of people has driven evacuation issues to the center of attention of the naval sector. For almost two decades, the guarantee of sufficient time for people on board cruise ships to be safely evacuated has been foreseen in regulations. However, such certification is not required for merchant shipping cargo ships, although the development of the oil industry and globalization have produced a significant increase in the number of casualties in accidents involving this type of vessel.

It is intended to demonstrate through this research that existing and widely used computational models in passenger ships can be adapted for application in cargo ships, helping to assess risks and the complex decision-making process inherent in evacuation in emergency situations. Throughout this document, it will be evidenced that the development of specific standards for cargo ships, with guidelines regarding evacuation analyzes still in the design phase, can be supported by the latest generation of commercially available software, recommending prevention rather than mitigation.

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivo	2
1.3	Organização do Documento	2
2	Processo de Regularização da Indústria Naval	4
2.1	Origem e Desenvolvimento da Navegação	4
2.2	Implantação da Organização Marítima Internacional	7
3	Acidentes Navais	11
3.1	Situações de Emergência em Navios	12
3.2	Incêndios na Navegação	14
4	Estudo de Evacuação em Navios	21
4.1	Fatores Humanos	23
4.2	Sistemas de Evacuação	27
4.3	Resoluções para Análises de Evacuação de Navios	31
4.4	Modelagem para Análise de Evacuação de Navios	33
4.4.1	Origem dos Modelos de Evacuação	33
4.4.2	Fatores de Evacuação de Navios	35
4.4.3	Técnicas de Desenvolvimento de Modelos de Evacuação	37
4.4.4	Abordagens Metodológicas para Análise de Evacuação	39
5	Métodos de Análise de Evacuação da IMO	42
5.1	Método Simplificado ou Macroscópico	42
5.2	Método Avançado ou Microscópico	43
5.3	Parâmetros dos Métodos de Análise de Evacuação	45
5.4	Cenários Referência	50
6	Estudo de Caso	53
6.1	Delineamento do Cenário Nacional	53
6.2	Modelos Adotados	57
6.2.1	Modelo de Evacuação	58
6.2.2	Modelo de Incêndio	63
6.3	Descrição do Navio em Estudo	66
6.4	Construção dos Modelos	70
6.5	Simulações de Evacuação	74
6.6	Simulações de Incêndio	85
6.7	Estimativa do Tempo para Deflagração da Evacuação	89

7	Avaliação dos Resultados.....	95
7.1	Tempo Mínimo para Evacuação	97
7.1.1	Caso 1 - Evacuação Primária Noturna	97
7.1.2	Caso 2 - Evacuação Primária Diurna	98
7.1.3	Caso 3 - Evacuação Secundária Noturna	99
7.1.4	Caso 4 - Evacuação Secundária Diurna.....	100
7.2	Identificação de Pontos de Congestionamento	101
7.3	Efeitos do Incêndio sobre os Evacuados	106
7.3.1	Efeitos do Incêndio para o Caso 1	110
7.3.2	Efeitos do Incêndio para os Casos 2 e 4	111
7.3.3	Efeitos do Incêndio para o Caso 3	112
8	Conclusões	114
	Referências Bibliográficas.....	116
	Anexo A – Questionário Aplicado aos Profissionais da Indústria Naval Nacional	120
	Anexo B –Variação de Temperatura para Incêndio Deflagrado na Cozinha.....	121
	Anexo C – Índices de FED ao Longo do Corredor Principal do Deck A	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Guffa.....	5
Figura 2 – Naufrágio do <i>Titanic</i>	8
Figura 3 – Naufrágio do <i>Costa Concordia</i>	12
Figura 4 – Fatores que Afetam a Segurança em Navios.....	14
Figura 5 – Tetraedro do Fogo.....	15
Figura 6 – Incêndio no <i>SS General Slocum</i>	17
Figura 7 – Resgate das Vítimas do <i>Al Salam Boccaccio 98</i>	18
Figura 8 – Navio <i>Symphony of the Seas</i>	21
Figura 9 – Pêndulo da Segurança.....	21
Figura 10 – Naufrágio do <i>Estonia</i>	23
Figura 11 – Consequências dos Erros Humanos na Indústria Naval.....	24
Figura 12 – Rotas de Fuga de Navio de Bandeira Brasileira	29
Figura 13 – Naufrágio do <i>MV Sewol</i>	30
Figura 14 – Navio <i>Ro-Ro</i>	31
Figura 15 – Naufrágio do Navio <i>MS Herald of Free Enterprise</i>	35
Figura 16 – Perspectivas de Modelos de Evacuação	38
Figura 17 – Raquete para Vedação de Flanges	54
Figura 18 – Parâmetros de Evacuabilidade.....	61
Figura 19 – Modelo Híbrido Mesoscópico.....	62
Figura 20 – Variáveis Consideradas pelo EVI.....	62
Figura 21 – Concentração de Fumaça em 60s, 300s e 900s de Simulação.....	65
Figura 22 – Participação de Navios de Carga na Frota Mundial.....	66
Figura 23 – Porcentagem de Acidentes com Navios entre 2011 e 2014.....	67
Figura 24 – Demanda Mundial de Energia Primárias.....	68
Figura 25 – Navio Petroleiro em Estudo.....	68
Figura 26 – Distribuição das Cabines na Superestrutura.....	69
Figura 27 – Desenho do Deck A no AutoCAD.....	70
Figura 28 – Desenho do Deck B no EVE.....	71
Figura 29 – Modelo 3D Exportado para o EVI.....	71

Figura 30 – Localização de Entidades no FDS.....	72
Figura 31 – Atributos de Entidades no FDS.....	73
Figura 32 – Distribuição Inicial da Carga de Pessoas no EVI.....	75
Figura 33 – Dados Demográficos Utilizando MSC1238 (Night).....	76
Figura 34 – Rotas dos Agentes em uma Simulação.....	77
Figura 35 – Diferença entre os Objetivos dos Agentes.....	78
Figura 36 – Tipos de Agentes no EVI.....	79
Figura 37 – Agentes com Diferentes Objetivos.....	79
Figura 38 – Dados Demográficos para os dois Tipos de Tripulantes.....	80
Figura 39 – Curvas de Objetivos Alcançados x Tempo.....	81
Figura 40 – Gráficos do Número, Fluxo e Densidade de Agentes.....	82
Figura 41 – Decks Deslocados da Posição Original.....	82
Figura 42 – Número e Densidade Máxima de Agentes Congestionados.....	83
Figura 43 – Simulações em Blocos.....	83
Figura 44 – Evacuabilidade para 50 Simulações.....	84
Figura 45 – Plano ao Longo do Corredor Principal.....	86
Figura 46 – Proporção Facial Humana.....	87
Figura 47 – Planos de Referência para Extração dos Resultados.....	88
Figura 48 – Registros de Objetivos Atingidos.....	90
Figura 49 – FED ao Longo do Corredor Principal.....	91
Figura 50 – Temperatura Limite.....	92
Figura 51 – Parcelas a Serem Adicionadas ao Tempo Calculado pelo EVI.....	93
Figura 52 – Bloqueio do Corredor Principal.....	94
Figura 53 – Redirecionamento dos Agentes.....	94
Figura 54 – Agentes Aprisionados.....	95
Figura 55 – Tempos Fornecidos pelo EVI para Evacuação Primária Noturna.....	97
Figura 56 – Tempos Fornecidos pelo EVI para Evacuação Primária Diurna.....	98
Figura 57 – Tempos Fornecidos pelo EVI para Evacuação Secundária Noturna.....	98
Figura 58 – Tempos Fornecidos pelo EVI para Evacuação Secundária Diurna.....	99
Figura 59 – Identificação de Pontos de Congestionamento.....	100
Figura 60 – Congestionamento de Corredores.....	101
Figura 61 – Histórico de Congestionamentos – Caso 1.....	102
Figura 62 – Histórico de Congestionamentos – Caso 2.....	103
Figura 63 – Identificação de Congestionamentos – Caso 3.....	104
Figura 64 – Registros de temperaturas nos decks A, B e D.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Desastres Marítimos Causados por Incêndios.....	15
Tabela 2 – Velocidade de Caminhada no Plano.....	48
Tabela 3 – Velocidade de Caminhada em Escadas.....	49
Tabela 4 – Categorias de FED para Níveis de Lesão.....	66
Tabela 5 – Distribuição da Carga de Pessoas.....	74
Tabela 6 – Distribuição dos Agentes por Deck.....	80
Tabela 7 – Coordenadas dos Focos de Incêndio.....	85
Tabela 8 – Tempos para as Análises Integradas.....	99
Tabela 9 – Faixas de Temperatura por Deck entre 600 e 800s.....	105
Tabela 10 – Variação de Temperatura entre 600 e 800s nos Corredores e PCs.....	106
Tabela 11 – Variação dos Níveis de FED por Deck.....	108
Tabela 12 – Variação dos Níveis de FED entre 600 e 800s.....	108
Tabela 13 – Condições Ambientais nos PCs para o Caso 1.....	109
Tabela 14 – Condições Ambientais nos PCs para Cenários Diurnos.....	111
Tabela 15 – Condições Ambientais nos PCs para o Caso 3.....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Desastres Marítimos em Plataformas Offshore.....	19
Quadro 2 – Efeitos dos Fatores Tecnológicos, Ambientais e Organizacionais.....	27
Quadro 3 - Quadro Evolutivo das Resoluções da IMO para Análise de Evacuação.....	33
Quadro 4 – Estudos do Comportamento Humano em Situações de Emergência.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS

AB	Agent Based
ABERGO	Associação Brasileira de Ergonomia
AIE	Agência Internacional de Energia
CA	Cellular Automata
EMSA	European Maritime Safety Agency
EVE	Evacuation Editor
EVI	Evacuability Index
FED	Fractional Effective Dose
FD	Fluid Dynamics
FDC	Fluidodinâmica Computacional
FDS	Fire Dynamic Simulator
FP	Fire Protection
FPSO	Floating, Production, Storage and Offloading
FSA	Formal Safety Assessment
FSO	Floating, Storage and Offloading
FSS	Fire Safety Systems
GT	Game Theoretical
IEA	International Ergonomics Association
IMO	International Maritime Organization
ISM CODE	International Safety Management Code
LA	Lattice Gas
MSC	Maritime Safety Committee
NIST	National Institute of Standards and Technology
QHSSE	Quality Health Safety Security Environment

SF	Social Forces
SOLAS	Safety of Life at Sea
SSRC	Ship Stability Research Centre
STCW	Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers
TPB	Tonelagem de Porte Bruto
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development

1 Introdução

1.1 Contextualização

O contínuo desenvolvimento de *designs* inovadores para embarcações torna os projetos baseados em regras prescritivas rapidamente obsoletos, uma vez que estes são fundamentados em experiências prévias, inexistentes para *layouts* em constante alteração. Dessa forma, ferramentas de simulação passaram a auxiliar as autoridades marítimas e especialistas em segurança naval no licenciamento de projetos, especialmente de navios de passageiros, por serem estes responsáveis pelo transporte de milhares de pessoas a cada viagem. O presente estudo pretende avaliar a eficácia de simuladores de evacuação desenvolvidos para navios de cruzeiros ao serem adaptados para navios de carga da marinha mercante, tendo-se em vista que análises de evacuação para este tipo de navio ainda não são obrigatórias, apesar do grande número de mortes registradas em acidentes envolvendo estas embarcações.

O processo de evacuação de navios possui características bastante diferentes da evacuação de edifícios da construção civil que originou as pesquisas nesse campo. O deslocamento em massa através de um ambiente extremamente complexo com inacessibilidade potencialmente existente através de inundações progressivas e/ou fogo e fumaça em expansão, somado à imprevisibilidade do comportamento humano é um problema com severas dificuldades de modelagem nos níveis processuais e comportamentais. O arranjo físico e o movimento dos navios, assim como a distribuição demográfica e as características individuais de seus ocupantes, são mais facilmente representados através de modelos computacionais, que reproduzem as interações entre os embarcados e o ambiente, e as forças de atração e repulsão entre os próprios evacuados de forma realista, sendo aqui testados e avaliados.

As análises de evacuação serão realizadas em um navio petroleiro sob condições de incêndio, em virtude de inúmeros desastres marítimos em larga escala serem causados por este tipo de acidente. A modelagem integrada de incêndio e evacuação será essencial para avaliação dos perigos associados aos cenários propostos, permitindo uma abordagem com estimativas em relação às reações dos evacuados segundo as consequências do evento sobre a saúde destes.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é fornecer evidências às autoridades marítimas de que as análises de evacuação exigidas para navios de passageiros podem ser estendidas aos navios de carga da marinha mercante, através de normas especificamente desenvolvidas para estes últimos. Para tal propósito utilizar-se-á ferramentas de simulação disponíveis no mercado adaptadas para navios de carga, com características próprias e ocupantes mais treinados que os de navios de cruzeiros, avaliando-se a capacidade de suporte destas ao processo de análise de riscos destes empreendimentos, tanto na fase de projeto, como em processos de adaptação, manutenção ou outras composições destas embarcações.

1.3 Organização do Documento

No capítulo 1 deste documento, encontra-se a contextualização do tema abordado nesta pesquisa e o principal objetivo a ser alcançado.

No Capítulo 2, está delineado um breve histórico sobre o desenvolvimento da indústria naval explicitando os principais fatos que conduziram à regularização desta atividade, a partir do surgimento e implantação da Organização Marítima Internacional.

No Capítulo 3, são apresentadas situações de emergência enfrentadas em viagens marítimas, especialmente eventos envolvendo incêndios e suas consequências, estabelecendo a relevância do presente estudo com foco em evacuação.

No capítulo 4, são abordados os fatores envolvidos em análises de evacuação de navios e as técnicas utilizadas para esse fim, assim como as resoluções desenvolvidas até o presente com o propósito de orientar tais investigações e diagnósticos.

No capítulo 5, são descritos os métodos de análise de evacuação desenvolvidos pela Organização Marítima Internacional, e a escolha de um deles para aplicação nesta pesquisa.

No capítulo 6, faz-se a descrição do estudo de caso desenvolvido neste trabalho, onde são apresentadas as características do navio selecionado e sua tripulação, assim como a construção dos modelos e aplicação dos simuladores.

No capítulo 7, estão apresentados os resultados obtidos através das simulações de incêndio e evacuação, descritos no capítulo 6, e uma análise geral sobre a investigação proposta.

No Capítulo 8, apresenta-se as principais conclusões derivadas desta pesquisa, onde são enumeradas algumas dificuldades encontradas e fornecidas sugestões para trabalhos futuros.

2 Processo de Regularização da Indústria Naval

O transporte marítimo atende atualmente mais de 90% de todo o comércio mundial. Através da navegação são transportadas de forma eficaz desde matérias-primas básicas, como grãos, minérios e petróleo, até produtos prontos para o consumo, como medicamentos, alimentos industrializados, veículos e equipamentos eletrônicos. Para atender à demanda de custos e competitividade, a logística marítima exige que os navios sejam cada vez maiores, possibilitando o transporte de mais mercadorias por viagem. Apesar da rapidez dos avanços tecnológicos nas últimas décadas, a presença do homem nas longas viagens da marinha mercante pelo globo terrestre ainda é imprescindível às operações a bordo e sua sobrevivência uma questão que deveria ser prioridade absoluta para a indústria naval. Contudo, a segurança do homem no mar nem sempre recebeu a devida atenção como será constatado ao longo deste trabalho. Um breve resumo sobre a história da navegação será apresentado a seguir, onde está traçado um panorama sobre o desenvolvimento do setor naval.

2.1 Origem e Desenvolvimento da Navegação

As primeiras civilizações se formaram na Pré-História, quando o homem se fixou à terra devido à agricultura que acabara de descobrir. Essas civilizações se desenvolveram próximas a grandes rios, onde as terras férteis estavam localizadas. Na Mesopotâmia (área que abrange atualmente regiões do Iraque, Kwait, Turquia, Síria e Irã), os povos se instalaram junto aos rios Tigre e Eufrates, na Índia, nos arredores do rio Ganges, na China, nos vales dos rios Amarelo e Azul, no Egito, ao longo do rio Nilo, assim como diversos outros povos se estabeleceram ao redor do planeta. Com estoques de alimentos superiores às necessidades locais, os agricultores passaram a vender os excedentes em outras regiões. Inicialmente, o transporte dos alimentos era realizado por terra, mas logo verificou-se a vantagem de se utilizar os rios para escoar a produção. Ao se constatar a possibilidade de trafegar em linha reta e deslocar maiores quantidades de produtos, rapidamente os barcos passaram a ser utilizados para transportar outros itens além dos alimentos.

As embarcações eram desenvolvidas segundo técnicas e materiais disponíveis nas regiões onde os povos surgiam. Os barcos mais antigos da Mesopotâmia, por exemplo, eram construídos com cana-de-açúcar e impermeabilizados com betume (resina natural formada por hidrocarbonetos). Eram frágeis e extremamente inseguros, pois devido ao betume, queimavam facilmente com chama intensa e fumaça espessa. Ao longo da evolução da construção naval mesopotâmica foram construídos mais de cem tipos de embarcações de diversas formas e capacidades, e ainda hoje, no Iraque e na Turquia são utilizados modelos como o Guffa, um cesto recoberto com peles e resinas, e o Kelek, jangada que flutua graças à pele de cordeiro inflada.



Figura 1 – Guffa.

Fonte: <https://memoriesofeden.wordpress.com>

Já na Idade Antiga, período compreendido entre o fim da Pré-História (por volta de 4.000 a.C.) e o século V d.C., observa-se o surgimento de embarcações com finalidades diferenciadas, a partir dos fenícios - povos que se desenvolveram no atual território do Líbano e que foram considerados exímios navegadores e hábeis construtores de navios. A região onde se instalaram era montanhosa e com poucas terras férteis, o que os impedia de se dedicar à agricultura ou à criação de gado, concentrando-se inicialmente na pesca, mas ao perceberem a necessidade de desenvolvimento do comércio pelo mar, obtiveram grande destaque nessa atividade. A Fenícia era um conjunto de cidades-estados que competiam entre si e com outros povos o controle das principais rotas do comércio marítimo e as embarcações precisavam estar preparadas para enfrentar inúmeros perigos, tanto de ordem natural como de ordem humana. Os primeiros barcos desenvolvidos serviam às funções comercial e de guerra simultaneamente, mas em seguida verificou-se a tendência de construção de tipos distintos para cada emprego. Os gregos antigos, que chegaram à Grécia por volta de 2000 a.C., aproveitaram os conhecimentos fenícios e, favorecidos pela geografia local, também se destacaram através do comércio no Mar Mediterrâneo. Outro povo a se destacar na construção naval na Idade Antiga foram os vikings. Nessa época, em que os povos mediterrâneos só navegavam próximo à costa, os vikings já se afastavam milhares

de quilômetros no mar aberto - os vikings eram originários da Escandinávia, região das atuais Dinamarca, Noruega e Suécia. Entre os anos 700 a.C. e 1110 d.C., muitos vikings deixaram a Escandinávia e viajaram para outras regiões como a Grã-Bretanha, Irlanda, Islândia e Rússia. Alguns para roubar riquezas, outros para conquistar terras onde se tornavam colonos, artesãos ou notáveis comerciantes marítimos. A China também apresentou diversas contribuições neste período da história impulsionando a navegação marítima com inúmeras invenções que seriam adotadas posteriormente pelo Ocidente.

Avançando um pouco mais na história, a partir do século XI a Itália dominou o comércio no Mediterrâneo e a procura por novas rotas comerciais foi a saída encontrada por outros povos para quebrar o monopólio comercial italiano. As grandes navegações com esse objetivo, como a circum-navegação da África, a descoberta do caminho marítimo para as Índias, a descoberta da América e a conquista da volta ao mundo, ampliaram as regiões produtoras e consumidoras estabelecendo o mercado mundial - a chamada Expansão Marítima e Comercial Europeia. Os portugueses foram os primeiros europeus a se lançarem ao mar no período das grandes navegações nos séculos XV e XVI. A participação lusitana no comércio europeu havia enriquecido seus comerciantes que investiam na navegação com o intuito de comercializar em diferentes partes do mundo. Os portos de boa qualidade existentes em Portugal colaboraram para o seu pioneirismo. Também foi importante o progresso náutico realizado pela Escola de Sagres, referência nos estudos de cosmografia, cartografia, melhorias de navios e métodos de navegação desenvolvidos mediante cooperação entre cientistas, mercadores e navegantes portugueses. As longas viagens transatlânticas, com condições extremas do clima e do mar, eram enfrentadas com navios mais robustos e melhor construídos que de outros povos na mesma época. Mas apesar das vantagens competitivas de Portugal, centenas de pessoas morriam em naufrágios decorrentes de tempestades e das más condições de higiene e alimentação a bordo dos navios. A primeira grande viagem marítima financiada pela Espanha ocorreu apenas em 1492, enquanto que Holanda, Inglaterra e França tiveram expansões ainda mais tardias, devido aos longos conflitos que travavam na época.

Durante séculos, essas grandes potências usaram barcos a vela em suas guerras pelo domínio do comércio e no transporte de carga. A partir de meados do século XVIII, surgiram ideias inovadoras para métodos de propulsão de barcos como as rodas de água, hélices e jatos de água. O vapor que já era usado em outras atividades desde o século XVII passa a ser apresentado como fonte de energia para embarcações. Muitas tentativas foram realizadas e abandonadas, até o primeiro projeto de sucesso em 1783, na França.

Apesar da superioridade dos navios a vapor, os navios a vela ainda continuaram a ser usados por bastante tempo, pois o uso do vento era muito mais econômico do que o carvão, utilizado como combustível. Foi a partir de 1840, que o transporte de correspondência e de passageiros abandonou as velas definitivamente.

Na metade do século XIX, já havia companhias de navegação concorrendo entre si no mercado de embarcações a vapor. Duas delas se destacavam: a britânica *Cunard Line* e a americana *Collins Line*. Os navios americanos eram maiores, mais luxuosos e mais potentes que os ingleses. Todavia, a *Collins Line* perdeu a confiança do público e faliu em decorrência de desastres envolvendo seus navios: o *Arctic* se chocou contra uma embarcação francesa e naufragou com 346 pessoas a bordo, inclusive familiares dos sócios da empresa, o *Pacific* desapareceu durante uma viagem e só foi localizado em 1986, mais de 150 anos depois, e o *Atlantic* bateu contra um bloco de gelo logo no primeiro dia de viagem, conseguindo chegar ao destino, mas com muitas avarias.

O que se pode constatar ao longo de quase 6 mil anos de história, é a total falta de cooperação entre os povos em relação às técnicas de construção de embarcações devido à acirrada competição pelo comércio. Tão pouco se verificou em todo esse tempo o estabelecimento de regras de segurança comuns para o desenvolvimento dessa atividade que inaugurou o comércio mundial e matou milhares de pessoas desde sua concepção, conforme será exposto no capítulo 3 deste trabalho. Esse cenário só começou a ser alterado a partir do século XX, com o acidente envolvendo o maior e mais luxuoso navio de passageiros projetado até então: O *Titanic*.

2.2 Implantação da Organização Marítima Internacional

O *Titanic* foi concebido para competir com os navios da empresa britânica *Cunard Line* e construído com os mais modernos recursos e tecnologias disponíveis na época. Após colidir em um *iceberg*, afundou em sua viagem inaugural, em abril de 1912, em pouco menos de três horas de viagem. Nem a experiente tripulação contratada foi capaz de evitar as 1517 mortes ocorridas dentre as 2223 pessoas a bordo. O naufrágio do *Titanic* foi considerado a maior tragédia da indústria naval em tempos de paz.



Figura 2 – Naufrágio do *Titanic*.

Fonte: <https://maisquesetimaarte.wordpress.com>

Foram constatados problemas de naturezas diversas que poderiam ter levado ao acidente. Foram citados, dentre outros fatores, a ausência de binóculos disponíveis para os tripulantes que faziam vigília nos mastros, que conseguiriam alertar sobre a presença do *iceberg* em tempo hábil para que a rota fosse alterada, o leme considerado pequeno demais para o tamanho do navio, impedindo de se efetuar a manobra necessária para evitar a colisão e a instalação manual de rebites com altas concentrações de escória no casco do navio, rompido facilmente no impacto. Apesar de alguns pesquisadores discordarem em relação às causas do acidente, houve unanimidade em relação às falhas no processo de evacuação do navio.

O engenheiro responsável pelos equipamentos e arranjo geral do navio havia calculado o número de botes salva-vidas necessários à evacuação total deste e sugeriu a instalação de turcos recém desenvolvidos na época (braços para manter os botes salva-vidas suspensos e afastados dos bordos do navio). Esses eram maiores que os utilizados até então, e tinham capacidade para sustentar 4 botes de madeira, cada um capaz de acomodar 65 pessoas. A utilização de 16 desses turcos seria suficiente para atender a demanda de evacuação, já que o *Titanic* fora projetado para capacidade total de aproximadamente quatro mil pessoas. No entanto, os construtores optaram por seguir regras adotadas para construção de navios ingleses nesse período e botes para apenas 1178 pessoas foram devidamente instalados. O caos no processo de evacuação foi inevitável, sendo possível salvar apenas 706 vidas.

A catástrofe do *Titanic* originou uma nova era da indústria naval.

Apesar de durante a evolução da indústria naval ter sido verificada a necessidade de implementação de métodos que garantissem a segurança do homem no mar, foi a partir do naufrágio do Titanic que essa se tornou uma preocupação mundial. Nos anos subsequentes ao desastre, para tornar a navegação mais segura, diversos países passaram a adotar leis em relação ao número mínimo de botes salva-vidas, comunicação entre embarcações e outras medidas que perduram até os dias atuais, no entanto ainda eram ações isoladas.

Foi somente em 1914, convocada pelo governo britânico, que houve a primeira Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS - *Safety of Life at Sea*), representando um avanço em relação à cooperação internacional no que diz respeito à adoção de medidas comuns de segurança, sendo até o hoje o tratado mais relevante no contexto da segurança marítima. Apesar de não ter entrado em vigor imediatamente, por consequência da Primeira Guerra Mundial (1914-1918), havia sido evidenciada a ineficácia de cada país determinar suas próprias regras de segurança e diversos países estabeleceram protocolos unificados de segurança e resposta a acidentes em alto mar. Em 1929, na tentativa de criação de um órgão internacional que regularizasse o transporte marítimo, surgiu uma nova versão SOLAS. Entretanto, foi somente após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), que surgiu a agência especializada em segurança marítima, IMO (*International Maritime Organization*), com o intuito de estabelecer um sistema que regulamentasse procedimentos relacionados a todo e qualquer conteúdo técnico inerente à navegação comercial internacional, focando principalmente na segurança. A convenção que estabeleceu a IMO entrou em vigor em 1958, e sua primeira meta foi a concepção de uma versão SOLAS atualizada, sendo atingida em 1960. A partir daí, a IMO se concentrou em outras questões como a facilitação do tráfego marítimo internacional, transporte de mercadorias perigosas e a poluição provocada pelos navios petroleiros. Conforme há o avanço da tecnologia e o aprendizado com novos acidentes, a IMO revê seus instrumentos, tendo como principal objetivo o incentivo à adoção das normas desenvolvidas por seus membros, contendo especificações de padrões mínimos de segurança para construção de navios, permeadas por preocupações ambientais, questões jurídicas e cooperação técnica, conforme sua própria declaração de missão, que definiu o plano estratégico para o período de 2010 a 2015:

A missão da Organização Marítima Internacional (IMO) como uma agência especializada das Nações Unidas é promover a navegação segura, ambientalmente correta, eficiente e sustentável através da cooperação. Isto será

realizado através da adoção dos mais elevados padrões normativos de segurança marítima e de segurança, eficiência da navegação e consideração de prevenção e controle da poluição por navios, bem como através das questões legais relacionadas à efetiva implementação dos instrumentos da IMO, com vista à sua aplicação universal e uniforme.

A IMO está baseada no Reino Unido, com aproximadamente 300 funcionários internacionais, e possui atualmente 169 países membros e 3 associados. Através de comissões especializadas (MSC – *Maritime Safety Committee*) e seus subcomitês, com a participação de especialistas de toda a cadeia produtiva naval, são desenvolvidos trabalhos técnicos visando a atualização da legislação existente ou a criação de novas regulamentações. O resultado é um conjunto de convenções internacionais, apoiado por centenas de recomendações que regem todos os aspectos do transporte marítimo, com medidas destinadas à prevenção de acidentes.

3 Acidentes Navais

Com o advento da globalização, passamos a viver em uma sociedade extremamente dependente das relações culturais e comerciais entre os países. Alguns historiadores consideram que a globalização nasceu com as Grandes Navegações e as descobertas dos séculos XV e XVI, quando os europeus estabeleceram conexões entre o Ocidente e o Oriente. Mas foi no final do século XX, com o fim da Guerra Fria, que o termo ‘globalização’ ficou conhecido e ela foi efetivada. Os países que deixaram de adotar o socialismo como sistema de governo passaram a ser alvos comerciais de empresas do mundo todo. A grande concorrência desse novo mercado levou à drástica redução de custos em todos os setores da cadeia produtiva, e as empresas transferiram suas fábricas para países onde matéria-prima, mão de obra e energia eram mais baratas. Nesse contexto, vimos produtos projetados em um país serem fabricados em outro, utilizando matérias primas de um terceiro, e comercializados em toda parte do globo terrestre. Os navios se mostraram mais uma vez a solução mais eficiente e de menor custo para transportar imensas quantidades de carga por longas distâncias.

Os chamados navios mercantes podem ser definidos como todos aqueles destinados à atividade comercial. Navios de pesca, navios de passageiros, navios graneleiros, navios porta contentores e navios para exploração e produção de petróleo, são alguns dos tipos utilizados pela marinha mercante. Atualmente, existem centenas de modelos de navios classificados segundo diferentes parâmetros: o tipo e volume de carga transportada, os portos presentes em cada rota e o tipo de propulsão são algumas das características levadas em consideração para a classificação das embarcações. O dinâmico desenvolvimento da indústria de construção de navios precisa estar sempre atento ao nível de segurança das viagens, e vem dedicando especial dedicação ao setor de construção de grandes navios de passageiros, capazes de acomodar milhares de pessoas. Acidentes como o ocorrido em 2012 com o navio de cruzeiros *Costa Concordia*, demonstram que uma filosofia de projetos concentrada na integridade das embarcações não promove a garantia da vida humana no mar. A evacuação caótica ocorrida nesse naufrágio resultou na morte de 32 pessoas, levando a crer que relevantes regulamentos legais precisam ser atualizados.



Figura 3 – Naufrágio do *Costa Concordia*.
Fonte: <http://destinodosnavios.blogspot.com.br>

3.1 Situações de Emergência em Navios

As situações de emergência durante a navegação são aquelas que possuem potencial para causar prejuízos ao navio, à carga transportada, ao ambiente marinho e à vida humana. As embarcações devem dispor de meios para aumentar a probabilidade de sobrevivência das pessoas a bordo. Instrumentos e medidas de contingência, voltados para prevenção e mitigação, são organizados para fazer face à essas situações. Todos os dispositivos de salvamento precisam apresentar prontidão operacional, ou seja, devem estar em condições para uso imediato desde antes da saída do navio do porto até o final da viagem. Para assegurar a confiabilidade desses dispositivos a IMO desenvolveu diretrizes para manutenção, testes e inspeções, como verificado, por exemplo, na MSC.1/Circ.1206 (Medidas de Prevenção de Acidentes com Botes Salva-Vidas) ou na resolução MSC.81(70) com as recomendações revistas para teste de equipamentos salva-vidas instalados a bordo a partir de julho de 1999.

O gerenciamento de emergências a bordo de um navio é normalmente composto por planos de segurança, rol de chamada (*muster list*), planos setoriais (plano de combate à incêndios e plano de prevenção de poluição, por exemplo), alarmes, sinalização e rotas de fuga, dentre outros elementos primordiais para minimização dos danos. Equipamentos individuais, como bóias, coletes salva-vidas e fatos de imersão, assim como equipamentos coletivos, como balsas, baleeiras e sistemas de evacuação, são meios de salvamento previstos nas convenções internacionais. Para auxiliar a localização das vítimas e subsequente resgate, conta-se ainda com equipamentos de rádio, sinais visuais de socorro, redes, cabos e outros meios de suporte aos náufragos. A sobrevivência do maior número de pessoas em situações de emergência em navios depende do amplo

conhecimento dos equipamentos de segurança disponíveis: tipos, quantidades, localização, capacidade, estado de conservação e a maneira correta de utilizá-los.

Para garantir a eficácia desses mecanismos é necessário que se cumpra um conjunto de procedimentos comuns à maior parte das situações de emergência. Ao se identificar o alarme correspondente à uma situação de emergência, a tripulação deve imediatamente vestir o colete salva-vidas, alertar os tripulantes que estejam descansando, se dirigir aos postos de reunião como previsto no rol de chamada e aguardar as ordens do comandante. A tripulação precisa ser previamente preparada para atuar nessas situações, e receber treinamentos periódicos para condicionamento das ações necessárias. O perfeito conhecimento das suas funções e posicionamento nos grupos de contingência aumenta a confiança do profissional, maximizando a eficiência de sua atuação. A familiarização com o arranjo do navio, a localização dos materiais e equipamentos disponíveis, as rotas de fuga e saídas e o Plano de Segurança é imprescindível à redução do tempo para a evacuação do navio. Na Convenção SOLAS, são encontradas diretrizes para um sistema de suporte para administração de crises, com regras aplicáveis a todos os navios de passageiros. É sugerido que o sistema deve consistir, no mínimo, de planos de emergência impressos onde todas as emergências previstas devem estar bem definidas. Os procedimentos especificados nos planos devem facilitar o processo de tomada de decisão baseados em planos modelo ou suas combinações. Os planos devem ter estrutura uniforme e de fácil utilização. Os requisitos mínimos de aptidão física e mental dos tripulantes exigidos por regulamentação internacional, visam garantir o bem-estar de todos a bordo, porém, atributos de personalidade determinam o êxito das ações exigidas. O desenvolvimento de qualidades como prudência, domínio do pânico e manutenção da calma, são fundamentais para o alcance de bons resultados.

Em LOZOWICKA (2012), os aspectos que afetam a segurança das pessoas em situações de emergência em navios foram divididos em dois grupos: os que integram a fase de projeto e os presentes na fase operacional. Na fase de projeto, os esforços devem ser direcionados para melhorar a capacidade de sobrevivência dos navios (navios de passageiros precisam ser projetados para serem capazes de voltar ao porto após um incêndio ou inundação de um compartimento estanque) e os sistemas de evacuação. Os trabalhos em desenvolvimento sobre sistemas de evacuação precisam focar tanto nas aplicações dos equipamentos salva-vidas quanto no dimensionamento das rotas de escape. Na fase operacional, para a prevenção de acidentes no mar, determina-se uma série de ações contínuas que ainda assim não são capazes de evitar os acidentes. Dessa

forma, uma evacuação eficiente é fundamental para a manutenção da vida humana. Na Figura 4, os fatores que afetam a segurança das pessoas no mar estão apresentados de tal forma a proporcionar maior destaque aos aspectos relacionados à evacuação, por ser este o foco do presente estudo.

FASE DE PROJETO	Sistemas de Evacuação	Rotas de Escape	Capacidade Símbolos Iluminação	FASE OPERACIONAL	Evacuação Eficiente	Organização	Gerenciamento Planos de Evacuação
		Equipamentos Salva-vidas				Apoio Externo	
	Melhoria da Capacidade de Sobrevivência do Navio				Prevenção de Acidentes Marítimos		

Figura 4 – Fatores que Afetam a Segurança em Navios
Fonte: Adaptado de LOZOWICKA, 2012

3.2 Incêndios na Navegação

Dentre as situações de emergência ocorridas em viagens marítimas, pode-se destacar a ocorrência de incêndios. Um grande número de acidentes envolvendo incêndios é frequentemente verificado durante a navegação, em geral derivados da falta de limpeza, organização, vigilância e adoção de procedimentos inadequados. É possível encontrar registros com relações extensas de desastres marítimos decorrentes de incêndios com variados graus de severidade ocorridos ao longo da história.

Segundo, RIVERA (2016), incêndio pode ser definido como a ocorrência de fogo não controlado em um ambiente não destinado a suportar carga térmica. É necessária a presença de 4 elementos simultaneamente para a existência do fogo, de maneira controlada ou não. Um material capaz de sofrer combustão, podendo estar no estado sólido, líquido ou gasoso, chamado de combustível, uma substância que ao reagir quimicamente com o combustível promova a combustão, chamado de comburente, uma quantidade de energia suficiente para dar início à reação, chamada de energia de ativação, e uma reação em cadeia para manter o fogo autossustentável. Uma vez iniciado o fogo, o calor gerado pela chama quebra o combustível em partículas menores que em contato com o comburente entram novamente em combustão alimentando a

reação em cadeia. O processo chega ao fim quando se consome todo o combustível ou se houver alteração de um ou mais elementos do chamado tetraedro do fogo.

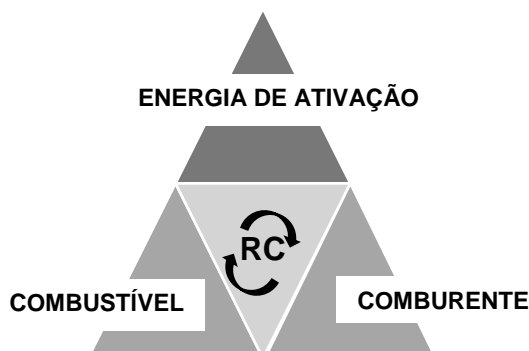


Figura 5 – Tetraedro do Fogo.
Fonte: Elaboração da Autora, 2016

Dentre os combustíveis sólidos podem ser citados madeira, plástico, tecido, papel e tantos outros hidrocarbonetos presentes nas viagens marítimas. O comburente mais comumente encontrado nas reações de combustão é o oxigênio, presente em 21% da composição do ar atmosférico. Somente quando esse percentual estiver abaixo de 16% o oxigênio não será mais capaz de alimentar a reação, porém essa faixa não pode ser mantida sem oferecer prejuízos à saúde dos seres humanos. Normalmente, a energia de ativação é obtida através de uma fonte de calor, que pode ser proveniente de fósforos, isqueiros, acendedores, velas, lâmpadas, superfícies aquecidas ou qualquer outro meio que eleve a temperatura ao ponto necessário para início da combustão. As principais causas apontadas para o início de incêndios estão relacionadas a fenômenos naturais, combustão espontânea, fenômenos termoeletrônicos e intervenção humana. A frequente conjunção desses elementos a bordo dos navios leva a desastres como os apresentados na Tabela 1, onde pode-se constatar a ocorrência de pelo menos uma centena de vítimas fatais em cada um deles. Os prefixos apresentados na tabela obedecem às práticas adotadas para nomeação de embarcações civis e militares em cada época correspondente. Salienta-se que até o final do século XVIII não existiam linhas regulares para transporte de passageiros, sendo esse executado por navios militares ou governamentais.

Tabela 1 - Desastres Marítimos Causados por Incêndios.

Ano do Desastre	Embarcação (País de Registro)	Número de vítimas fatais

1758	HMS Prince George (Reino Unido)	485
1800	HMS Queen Charlotte (Reino Unido)	673
1807	HMS Ajax (Reino Unido)	252
1840	Lexington (Estados Unidos)	139
1847	Phoenix (Estados Unidos)	200
1848	Ocean Monarch (Estados Unidos)	178
1852	PSS Amazon (Reino Unido)	104
1858	SS Austria (Alemanha)	447
1862	PSS Golden Gate (Estados Unidos)	204
1869	Stonewall (Estados Unidos)	200
1871	America (Argentina)	141
1874	Cospatrick (Reino Unido)	473
1887	Wah Yeung (Reino Unido)	400
1890	PSS Shaghai (Reino Unido)	200
1904	SS General Slocum (Estados Unidos)	1021
1913	Voltorno (Canadá)	136
1916	Imperatriza Marija (Rússia)	151
1934	SS Morro Castle (Estados Unidos)	137
1940	Orazio (Itália)	108
1949	SS Noronic (Canadá)	118
1963	TSMS Lakonia (Grécia)	128
1963	Djandji Radja (Indonésia)	105
1967	USS Forrestal (Estados Unidos)	134
1976	MV Patra (Egito)	102
1981	Tampomas II (Indonésia)	431
1983	10th of Ramadam (Egito)	357
1987	MV Vector (Filipinas)	1565
1990	MS Scandinavian Star (Noruega)	158

1999	Dashun (China)	140
2006	Al Salam Boccaccio 98 (Egito)	1018

HMS (His/Her Majesty's Ship)	Navio (a serviço) de sua majestade.
MV (Motor Vessel)	Navio movido a motor de combustão interna.
PS (Paddle Steamer)	Barcos a vapor com rodas de pás.
SS (Steam Ship)	Navio a vapor.

Fonte: Elaboração da Autora, 2016

Os dois acidentes com maior número aproximado de vítimas fatais listados na Tabela 1, foram destacados para uma breve análise.

O primeiro ocorreu em junho de 1904, quando o navio a vapor *General Slocum* conduzia aproximadamente 1300 passageiros, em sua maioria mulheres e crianças, ao longo do *East River* em Nova Iorque. Um incêndio foi deflagrado e sob o comando do capitão a viagem não foi interrompida. Ao tentar apagar o fogo, a tripulação se viu diante de mangueiras podres que desmanchavam ao serem manuseadas e rapidamente o fogo se alastrou. A tentativa de utilização de botes salva-vidas para a evacuação foi fracassada, uma vez que estes estavam presos e, portanto, inacessíveis. A única opção restante foi o lançamento dos passageiros para fora da embarcação e o que se observou foi o afogamento da grande maioria, pois os coletes salva-vidas estavam sem manutenção e não flutuavam. Poucas pessoas sabiam nadar e os afogamentos foram acelerados pela ação das pesadas roupas da época. No total, 1021 pessoas morreram queimadas ou afogadas. Foi considerado o pior desastre da cidade de Nova Iorque até os ataques terroristas de 11 de setembro de 2001.



Figura 6 – Incêndio no SS *General Slocum*.
Fonte: <http://www.maggieblanck.com>

O segundo acidente destacado ocorreu em fevereiro de 2006. O *Al Salam Boccaccio 98*, transportava aproximadamente 1400 pessoas através do Mar Mediterrâneo, quando o incêndio foi deflagrado na casa de máquinas. Assim como no caso do *General Slocum*, a embarcação seguiu viagem apesar de estar mais próxima do porto de partida que o de destino, e os passageiros que insistiam no retorno foram presos em suas cabines. Não havia número suficiente de botes salva-vidas. Além dos passageiros compulsoriamente trancados, muitas pessoas adormecidas não foram avisadas a tempo sobre o incêndio e acabaram presas na parte inferior do navio. Ao todo, 1018 pessoas morreram nesse desastre.



Figura 7 – Resgate das Vítimas do *Al-Salam Boccaccio 98*.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=jxKCtwHWbvU>

Uma simples comparação entre esses dois acidentes catastróficos ocasionados por incêndios suscita uma questão: Por que apesar de mais de um século de intervalo entre a ocorrência desses desastres tão similares, o percentual de vítimas é praticamente o mesmo (aproximadamente 75%) e muitas dessas pessoas sequer tiveram a chance de se afastar do fogo ou abandonar o navio? A resposta para essa pergunta está diretamente relacionada à importância atribuída ao processo de evacuação, que será cuidadosamente examinado ao longo deste trabalho.

A quantidade de acidentes marítimos tornou-se ainda maior com o desenvolvimento das atividades de exploração e produção de petróleo, com significativo aumento do número de vítimas fatais. O grande volume de petróleo transportado por todo o globo terrestre, com navios utilizados para esse propósito de dimensões cada vez maiores e as imensas plataformas *offshore*, despertam preocupação adicional em relação

à segurança em alto mar. Segundo ALMEIDA (2013), até a segunda metade do século XIX, 10.600 vidas foram perdidas nos 28 maiores acidentes marítimos constatados, enquanto que no século XX, com o avanço da indústria do petróleo, 41.250 mortes foram decorrentes de 76 grandes desastres registrados até setembro de 1996. De acordo com RIVERA (2016), até o ano de publicação de sua tese de doutorado, os incêndios foram os principais responsáveis pela perda de 41 plataformas *offshore*. No Quadro 1, são exibidos alguns desses desastres, baseado nas informações fornecidas pela OIL RIG DISASTERS (2017), a partir dos quais é possível mensurar as consequências de sinistros causados por incêndios ou desastres naturais envolvendo atividades de exploração de petróleo.

Quadro 1 - Desastres Marítimos em Plataformas *Offshore*.

Data do desastre	Companhia País	Causa	Consequências
jan/69	<i>Union Oil</i> Estados Unidos (Plataforma)	Blow out	Litoral afetado pelo derramamento de óleo por diversos anos. Restrições ambientais mais severas em relação à atividade <i>offshore</i> a partir do acidente.
jun/79	<i>Pemex</i> México (Plataforma)	Blow out	Derramamento de óleo contido apenas em março de 1980.
mar/80	<i>Philips Petroleum</i> Estados Unidos (Plataforma)	Tempestade	A plataforma adernou matando 123 dos 212 homens a bordo.
fev/82	<i>Mobil Oil's</i> Estados Unidos (Plataforma)	Ciclone	A plataforma afundou matando todos os 84 tripulantes a bordo, em um resgate desastroso.
ago/84	<i>Petrobras</i> Brasil (Plataforma)	Blow out	Morte de 42 tripulantes durante a evacuação.
abr/88	<i>Petrobras</i> Brasil (Plataforma)	Blow out	Queima de gás por 31 dias, mas sem vítimas fatais.
jul/88	<i>Occidental Petroleum Ltda e Texaco</i> Estados Unidos (Plataforma)	Vazamento de gás	Explosão e incêndios secundários. Morte de 165 dos 224 tripulantes a bordo.
nov/89	<i>Unocal</i> Estados Unidos (Navio sonda)	Tufão	Afundamento do navio e morte de 91 dos 97 tripulantes a bordo.

mar/01	<i>Petrobras</i> Brasil (Plataforma)	Não conformidades de procedimentos de operação, manutenção e projeto	Explosão matando 11 dos 175 tripulantes a bordo (todos da equipe de emergência).
jul/05	<i>Oil and Natural Gas Corporation</i> Índia (Embarcação de suporte)	Colisão	Plataforma totalmente destruída em 2 horas. Morte de 22 dos 384 trabalhadores a bordo.
ago/09	<i>PPT Public Company Limited</i> Tailândia (Plataforma)	Blow out	Nenhuma vítima fatal. Vazamento de óleo por 3 meses, exterminando a vida marinha e afetando as áreas adjacentes.
abr/10	<i>British Petroleum</i> Reino Unido (Plataforma)	Explosão	Morte de 11 tripulantes e 17 gravemente feridos.
set/10	<i>Mariner Energy</i> Estados Unidos (Plataforma)	Explosão	Os 13 tripulantes foram resgatados e nenhum gravemente ferido.
jan/12	<i>Chevron</i> Estados Unidos (Plataforma)	Explosão	152 tripulantes resgatados e 2 desaparecidos.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Os critérios de segurança adotados em plataformas de exploração de petróleo são regidos por normas específicas como a ISO 13702 (*Control and Mitigation of Fires and Explosions on Offshore Production Installations*) e a MODU CODE (*Mobile Offshore Drilling Units*), baseadas nas propostas da IMO. O presente trabalho se concentra na análise de evacuação dos grandes navios petroleiros da marinha mercante e, portanto, as plataformas de produção e operação de óleo e gás não serão aqui tratadas.

4 Estudo de Evacuação em Navios

Em junho de 2017, houve o lançamento de um dos maiores navios de cruzeiros do mundo, o *Symphony of the Seas*, com capacidade para 6870 passageiros e 2394 tripulantes distribuídos por 18 decks.



Figura 8 – Navio *Symphony of the Seas*.
Fonte: <https://www.royalcaribbeanblog.com>

Há de se supor que projetos de navios com essa magnitude sempre se concentrem na sobrevivência do homem no mar, entretanto, segundo PONTES JR (2014), o tratamento de questões relacionadas à segurança oscila segundo o movimento de um pêndulo, ilustrado na Figura 9. Quando sob influência de grandes acidentes, as estratégias de segurança atingem o ponto de mais alta proteção, enquanto que demasiada confiança, custos excessivos e a competitividade os direcionam para o ponto de mínimo rigor, no qual investimentos são designados apenas para o estabelecimento da proteção mínima exigida por lei.

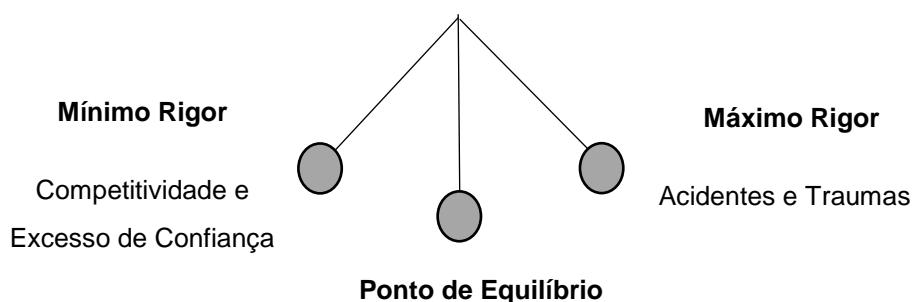


Figura 9 – Pêndulo da Segurança.
Fonte: Elaboração da Autora, 2015

A dificuldade em permanecer no ponto de equilíbrio reside na divergência de interesses existente entre os elos da cadeia produtiva da indústria naval, que possuem anseios próprios em relação aos empreendimentos. A prevenção de acidentes deve ser considerada desde a fase de concepção de um projeto, a partir da avaliação de riscos e da escolha de tecnologias mais adequadas ao seu desenvolvimento, entretanto, os atores envolvidos na construção e operação de um navio dificilmente chegam a um consenso em relação ao grau de relevância da segurança em um projeto.

Os profissionais responsáveis pelos recursos designados à segurança precisam estipular o risco máximo aceitável meio ao cenário de gestão tecnológica e organizacional no qual se encontram. Apesar das diversas técnicas de análise de riscos utilizadas atualmente, é muito difícil considerar todas as possíveis combinações de eventos que podem gerar um acidente catastrófico. O risco associado a um tipo de acidente é calculado pelo produto entre a probabilidade desse acidente ocorrer e o dano que ele pode causar. O dano pode ser expresso pela quantificação dos prejuízos financeiros, ao meio ambiente e ao homem, e a determinação da probabilidade de ocorrência de um acidente depende da frequência de registros deste durante o desenvolvimento de atividades ao redor do mundo. Neste ponto, esbarra-se em um dos grandes desafios enfrentados ao se estabelecer critérios de aceitabilidade de riscos em projetos inovadores, decorrente do fato de que muitas das tecnologias empregadas são concebidas paralelamente ao desenvolvimento destes empreendimentos. Nos casos onde a experiência mundial é praticamente inexistente, simulações computacionais são empregadas enquanto dados provenientes de experiências reais não estão disponíveis.

Corroborando com a concepção do pêndulo da segurança proposto por PONTES JR, o acidente com o navio *Estonia* levou as questões relacionadas aos planos de emergência de volta ao foco do cenário mundial. O navio de passageiros, afundou em setembro de 1994, levando à morte 852 das 989 pessoas a bordo. Durante o acidente não foram dadas informações gerais aos passageiros que contaram com apenas 20 minutos para o abandono do navio, sendo necessário pelo menos o triplo deste tempo para este tipo de embarcação. O processo de evacuação não organizado foi dificultado pela rápida inundação, as estreitas passagens, escadas transversais, objetos em movimento e pelo pânico instaurado entre os ocupantes. Cerca de 300 pessoas conseguiram alcançar os conveses, no entanto apenas 137 foram resgatadas com vida, uma vez que as embarcações salva-vidas nem chegaram a ser arriadas. Uma nova filosofia de projetos, focada na evacuação de navios em situações de emergência, surgiu a partir do naufrágio do *Estonia*.



Figura 10 – Naufrágio do *Estonia*.
Fonte: <https://megaarquivo.wordpress.com>

4.1 Fatores Humanos

Essa instabilidade no gerenciamento de riscos vem dirigindo o empenho dos projetistas para desenvolvimento de métodos mais eficazes de evacuação, uma vez que no estágio operacional, a prevenção de acidentes depende fundamentalmente do fator humano, ponto fraco em qualquer sistema de segurança.

Com o advento da globalização e a intensificação do transporte marítimo, houve consequentemente o aumento da demanda de mão-de-obra. O sucesso dessa atividade, assim como de outros setores, depende prioritariamente dos recursos humanos disponíveis. Todos os profissionais a bordo das embarcações, apesar das mais variadas origens de formação, precisam atender às exigências em relação às questões de segurança. Os riscos inerentes à navegação exigem que independentemente da função que o trabalhador irá desempenhar, este desenvolva habilidades e competências na área de segurança. Todos devem possuir amplo conhecimento das técnicas e procedimentos adotados em relação à prevenção de acidentes, sendo instruídos através de treinamentos a cumprir as normas e utilizar da maneira mais eficiente os meios disponíveis, conforme citado no item 3.1.

O ISM Code (*International Safety Management Code*) foi inserido ao SOLAS no final dos anos 80, com o intuito de desenvolver procedimentos de treinamento, capacitação e qualificação dos trabalhadores a bordo. Na década de 1990, duas importantes iniciativas foram tomadas em relação ao elemento humano no transporte marítimo. As emendas estabelecidas na Convenção Internacional sobre Normas de Formação, Certificação e Serviço de Quartos para Marítimos (STCW - *Standards of*

Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers) ocorrida em 1978, entraram em vigor a partir de 1997, melhorando significativamente os padrões marítimos, e em 1998, o Código Internacional de Gestão de Segurança, aplicável a navios de passageiros, graneleiros, químicos e petroleiros, entrou em vigor, sendo aplicável para outros navios de carga e unidades móveis de perfuração *offshore* a partir de 2002. Entretanto, ainda que a disseminação de informações seja garantida por meio de treinamentos, investigações indicam que o percentual de acidentes atribuídos às falhas humanas não para de crescer.

Ao longo das últimas 4 décadas o setor naval se concentrou em aprimorar a estrutura dos navios visando o aumento da eficiência e da produtividade no transporte marítimo. Observa-se nesse período melhorias nos sistemas de embarque, design do casco, sistemas de estabilidade, sistemas de propulsão e equipamentos de navegação, utilizando tecnologias mais sofisticadas e altamente confiáveis. No entanto, não se reduziu significativamente o risco de acidentes e a taxa de acidentes marítimos permaneceu alta. Isso porque a estrutura dos navios e a confiabilidade dos sistemas são uma parte relativamente pequena da equação da segurança. As limitações do ser humano, físicas, fisiológicas e psicológicas, influenciam em torno de 90% de todos os acidentes que ocorrem no mundo. Em um levantamento realizado especificamente na indústria naval e apresentado por ROTHBLUM (2000), os erros humanos são responsáveis por 75% dos incêndios e explosões, de 89 a 96% das colisões, 75% dos abalroamentos, 79% dos naufrágios de rebocadores e de 84 a 88% dos acidentes com navios tanque.

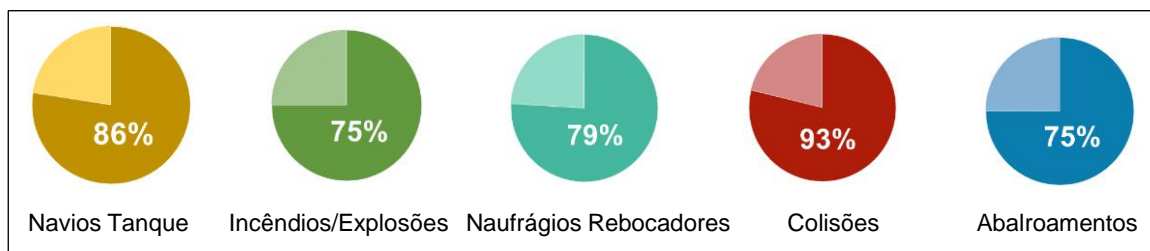


Figura 11 – Consequências dos Erros Humanos na Indústria Naval.

Adaptado de Rothblum, 2000

Durante a Segunda Guerra Mundial, níveis inaceitáveis de falhas humanas chamaram a atenção dos militares norte americanos, que contrataram psicólogos, engenheiros, físicos e cientistas de diversas áreas para atuarem em seleção de mão de obra e treinamento. As melhorias observadas a partir dessas ações perduravam por curtos períodos. Gestores procuraram utilizar maneiras de convencer seus subordinados

a não cometerem erros, como se uma motivação apropriada pudesse de alguma forma superar limitações humanas inatas. Tentou-se fazer com que os seres humanos se adaptassem aos sistemas, quando o que precisava ser feito era adaptar os sistemas aos seres humanos.

Os acidentes normalmente não são causados por uma única falha mas pela confluência de uma série de erros. Ao analisar a ocorrência de acidentes, geralmente é possível rastrear o desenvolvimento destes através de vários eventos discretos. Em WAGENAAR *et al.* (1987), a análise de 100 acidentes levou os autores a concluir que o número de causas por acidente variou de 7 a 23 tipos de erros em 50% dos casos, e de 23 a 58 tipos de falhas nos demais casos. Nesse estudo, o erro humano foi identificado por contribuir para 96 dos 100 acidentes investigados. Em 93 desses acidentes, múltiplos erros humanos foram cometidos, geralmente por duas ou mais pessoas, que cometiam em média, dois erros individualmente. Uma constatação importante da pesquisa foi a de que cada erro humano cometido era uma condição necessária para o acidente. Isso significa que se apenas um dos erros humanos não tivesse ocorrido, a cadeia de eventos teria sido quebrada, e o acidente não aconteceria. Portanto, se for possível encontrar formas de prevenir alguns desses erros humanos, ou pelo menos aumentar a probabilidade de que tais erros sejam percebidos e corrigidos, maior será a segurança marítima e menor o número de vítimas.

É importante reconhecer que o erro humano engloba muito mais do que o comumente chamado de 'erro do operador'. Para entender o que causa os diferentes tipos de erros humanos é preciso considerar como os indivíduos trabalham no sistema marítimo, lidando com outras pessoas, tecnologia, meio ambiente e organizações. Às vezes, o elo fraco são as próprias pessoas em si, porém, mais frequentemente, é a forma como os fatores tecnológicos, ambientais e organizacionais influenciam negativamente a maneira como as pessoas executam suas tarefas. Características individuais como conhecimento, competências, habilidades, memória, percepção, prontidão e motivação, são afetadas de diferentes formas em cada indivíduo, mas todos sofrem influência desses fatores.

Segundo a IEA (*International Ergonomics Association*), a Ergonomia trata da compreensão das interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema. Para a ABERGO (Associação Brasileira de Ergonomia) a modificação dos sistemas de trabalho para adequar as atividades nele existentes às características do ser humano para seu desempenho eficiente, confortável e seguro é o principal objetivo dessa

disciplina científica. Em SOARES *et al.* (2000), expõe-se a importância em se modelar as interações sistêmicas do homem com equipamentos, instrumentos e mobiliários, a fim de otimizar as interfaces sensoriais, posturais, energéticas, cognitivas, emocionais e organizacionais.

Para trabalhar sob a perspectiva de tecnologia de interfaces, ambicionando o progresso na redução de baixas marítimas, é necessário se concentrar nos tipos de erros humanos que causam acidentes, levando em consideração que muitas vezes são os próprios projetos que induzem aos erros. A automação é muitas vezes projetada sem considerar de forma adequada as informações que o usuário precisa acessar. As informações críticas às vezes não são expostas ou são exibidas de uma maneira difícil de serem interpretadas. Tais modelos podem levar a uma compreensão inadequada do estado do sistema e a uma tomada de decisões precária. Qualquer projeto envolvendo a manipulação de máquinas requer o tratamento da percepção do homem em algum grau de aprofundamento. BARBARINI (2012) avaliou a preponderância da interação entre o ser humano e os sistemas de alarme na análise de riscos de navios. Segundo o autor o sistema de alarmes tem influência direta na dinâmica de um acidente, visto que é a partir dele que a tripulação extrai as informações necessárias para tomadas de decisão no desenrolar do acidente. No item 6.1, encontra-se um exemplo recente de como a interpretação equivocada de um sistema de alarmes levou ao adiamento de decisões, que caso fossem deliberadas anteriormente poderiam ter evitado uma tragédia.

Fatores ambientais também afetam o desempenho e entende-se por 'ambiente' não apenas o clima e outros aspectos físicos do local de trabalho, como iluminação, ruído e temperatura, mas inclusive o fator econômico. Os fatores físicos afetam diretamente a capacidade de execução de tarefas - condições meteorológicas em alto mar e as vibrações do navio podem prejudicar a locomoção e a destreza manual, além de causar estresse e fadiga. Mas fatores econômicos também aumentam a probabilidade de acidentes, ao se tentar por exemplo, fazer com que cronogramas sejam cumpridos a qualquer custo.

Em relação aos fatores organizacionais, atribui-se ao arranjo da tripulação e às políticas da empresa, as condições que determinam o melhor ou pior desempenho humano. O tamanho da equipe e a distribuição da carga de trabalho pela tripulação afeta a sua capacidade para exercer suas funções de forma segura e eficaz. No Quadro 2, são apresentados resumidamente como cada um desses fatores interferem no desempenho dos seres humanos levando-os a cometer erros.

Quadro 2 – Efeitos dos Fatores Tecnológicos, Ambientais e Organizacionais.
 Fonte: Adaptado de ROTHBLUM, 2000

	FATORES	INFLUÊNCIAS
TEC	Antropometria Disposição de Equipamentos Exibição de Informações Manutenção	Força Agilidade Percepção Compreensão
AMB	Temperatura Ruído Estado do Mar Vibração Regulamentos Economia	Desempenho Físico Desempenho Mental Fadiga
ORG	Tempo de Trabalho Número de Tripulantes Treinamento Comunicação Cultura de Segurança	Fadiga Conhecimentos Habilidades

Os fatores que levam ao aumento ou à diminuição da probabilidade de erros humanos serem cometidos foram denominados de fatores humanos. Projetos baseados em fatores humanos desenvolvem análises a respeito das interações entre as pessoas e as máquinas, pessoas e ambientes, pessoas e procedimentos, e das pessoas entre si. Para que os fatores humanos possam ser considerados em um projeto, é necessária a adoção de uma perspectiva inovadora por parte dos envolvidos, onde um estudo multidisciplinar, muitas vezes considerando dados subjetivos, relativiza cálculos antes tidos como absolutos e conclusivos. Este trabalho é permeado pelas vicissitudes que levaram a análise de evacuação de navios baseada em fatores humanos.

4.2 Sistemas de Evacuação

Conforme apresentado no item 4.1, apesar do crescente auxílio tecnológico, a maior causa de acidentes durante a operação de navios é o erro humano, impossível de se extinguir. Por essa razão, sob o ponto de vista dos projetistas, análises sobre os regulamentos para evacuação de navios nas fases iniciais de um projeto são cruciais. O projeto adequado dos sistemas de evacuação é essencial para a garantia da sobrevivência dos embarcados, se apresentando como a última camada de proteção em uma situação de emergência. Uma evacuação mal gerenciada pode ser decisiva para a

ocorrência de um grande número de vítimas fatais, assim como evidenciado nos naufrágios do *Titanic*, *Estonia* e *Costa Concordia*, apresentados nos capítulos anteriores, dentre tantos outros ao longo da história.

De maneira geral, os objetivos do sistema de evacuação são: escapar do perigo imediato, prover rotas para os pontos de reunião, prover rotas para os postos de abandono e prover rotas de efetivo abandono. Os projetos de sistemas de evacuação focam principalmente nos equipamentos salva-vidas, nas rotas de escape e no tempo disponível para o escape e abandono. Um plano de evacuação deve incluir um diagrama representando o trajeto a ser seguido do ambiente onde os embarcados se encontram no instante em que começa a evacuação até os pontos de encontro. Para que as rotas de escape executem com eficiência a sua função, devem satisfazer inúmeras exigências, contendo sua própria capacidade, símbolos e iluminação. Os indivíduos devem ser distribuídos uniformemente pelas rotas a fim de reduzir o risco de pânico e atropelos durante o deslocamento. O tempo real para a evacuação é uma limitação natural nesse processo e seu cálculo é realizado através dos métodos recomendados pela IMO, apresentados em detalhes na seção 5.3 deste trabalho.

No Brasil, a Diretoria de Portos e Costas (DPC – Marinha do Brasil) determina requisitos básicos para as rotas de fuga, que devem ser seguidos por qualquer embarcação com arqueação bruta superior a 50 destinadas à operação em mar aberto (com exceção dos navios da Marinha do Brasil e os dedicados ao esporte e/ou recreação). Segundo a NORMAM 01/DPC, em todos os níveis de acomodações, de compartimentos de serviço ou da Praça de Máquinas deverá haver, pelo menos, duas vias de escape amplamente separadas, provenientes de cada compartimento restrito ou grupos de compartimentos. Abaixo do convés aberto mais baixo, a via de escape principal deverá ser uma escada e a outra poderá ser um conduto ou uma escada. Acima do convés aberto mais baixo, as vias de escape deverão ser escadas, portas ou janelas, ou uma combinação delas, dando para um convés aberto. Nenhum corredor sem saída com mais de 7 m de comprimento é aceito (um corredor sem saída é um corredor ou parte de um corredor a partir do qual só há uma via de escape). Caso sejam utilizados como vias de escape os acessos através de aberturas ou de portas de visitas verticais em anteparas, a passagem não poderá ser inferior a 600mm x 800mm. No caso de utilização de aberturas, escotilhas ou portas de visita horizontais, a abertura livre mínima não deverá ser inferior a 600mm x 600mm. As rotas de escape deverão ser marcadas por meio de setas indicadoras pintadas na cor vermelha indicando "Saída de Emergência". A marcação deverá permitir aos passageiros e tripulantes a identificação de todas as rotas

de evacuação e a rápida identificação das saídas. Na Figura 12, é possível visualizar a demarcação das rotas de fuga com faixas e setas indicativas de direção, pintadas na cor branca e com textura antiderrapante.

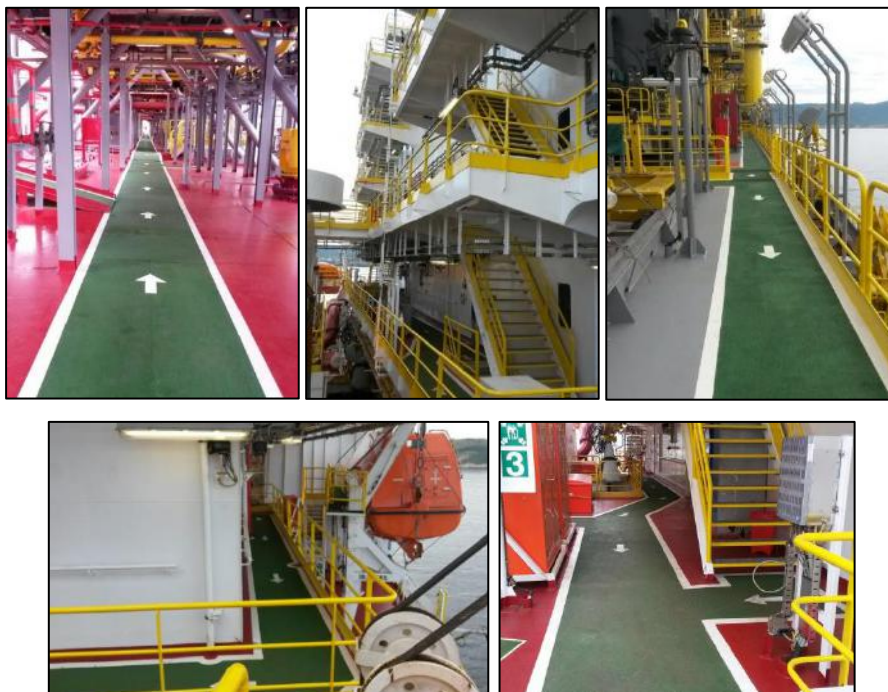


Figura 12 – Rotas de Fuga de Navio de Bandeira Brasileira.
Fonte: Elaboração da Autora, 2015

As pesquisas com foco em evacuação de ambientes, em situações normais ou de emergência, produzem recomendações em relação a todos esses parâmetros. A aceitação dessas propostas, direcionadas à legislação, normas e procedimentos, depende da importância atribuída à segurança em cada época. A indiscutível preponderância dos acidentes nesse contexto, mobilizando empresas e sociedade, revela a primazia da mitigação ante a prevenção.

Em 2014, ano de início deste estudo, o naufrágio do *MV Sewol* chamou especial atenção. O acidente com a balsa sul coreana que transportava 476 pessoas, resultou na morte de 304 delas. Várias falhas humanas foram apontadas como causa do desastre, mas o que veio de encontro à motivação desta pesquisa foi o fato de que apesar da embarcação ter levado 3 horas para afundar, em nenhum momento as pessoas a bordo receberam ordem para abandoná-la. Pelo contrário, a orientação dos tripulantes era para que todos permanecessem onde estivessem durante o evento, mesmo depois que a balsa começou a adernar. Algumas pessoas tentaram quebrar as janelas das cabines

para chegar ao convés superior, porém foram impedidas pela rápida inundação e inclinação da embarcação. Os únicos sobreviventes foram aqueles que desobedeceram às imposições dos tripulantes e se lançaram ao mar.



Figura 13 – Naufrágio do MV Sewol.
Fonte: AP Photo/Yonhap

Considerando que o dimensionamento do sistema de escape e abandono da balsa foi regido pelas normas vigentes para 921 passageiros e 35 tripulantes, e que esta apresentava taxa de ocupação de apenas 50% no dia do acidente, o processo de evacuação deveria ter transcorrido tranquilamente, entretanto ele sequer foi iniciado. Surge aqui um questionamento em relação à obediência incontestável dentro da hierarquia adotada nos navios. A convicção de que o comprometimento em se seguir estritamente os procedimentos estabelecidos aumenta a confiabilidade das operações, desconsidera neste ponto o erro humano daquele que vai determinar o início do processo de evacuação. Basicamente, um único indivíduo com reações psicológicas e comportamentais próprias estabelece o período em que permanecer em um navio com avarias é considerado um risco aceitável. Somente após esse período e o consequente comando para evacuação do navio que as reações dos evacuados serão desencadeadas em uma multiplicidade de conexões favoráveis ou não ao cumprimento dos procedimentos. Concentrar a decisão de qual será o instante limite que ainda assegure a sobrevivência de todas as pessoas a bordo, pode anular todos os esforços em relação aos cálculos para os recursos necessários a uma evacuação eficiente.

4.3 Resoluções para Análises de Evacuação de Navios

A cadeia de construção, propriedade e gestão dos navios modernos pode requerer o envolvimento de diversos países. Esses gigantes meios de transporte ainda trafegam constantemente entre diferentes jurisdições, havendo a necessidade de adoção de normas internacionais para regular essa importante atividade.

A análise a respeito da evacuação de um navio, ainda no estágio de projeto, tem se mostrado um importante recurso para a redução do número de vítimas fatais em acidentes de grandes proporções. O Comitê de Segurança Marítima (MSC – *Maritime Safety Committee*) da Organização Internacional Marítima (IMO - *International Maritime Organization*), reconhecendo a relevância desse estudo, determinou que navios de passageiros construídos a partir de julho de 1999 deveriam ser submetidos à análise de evacuação ainda nas primeiras etapas de projeto.

O Comitê de Segurança Marítima da IMO, aprovou em 1999 as diretrizes provisórias para análise simplificada de evacuação de navios de passageiros *Ro-Ro* (*Roll on – Roll off*), em consonância com o regulamento SOLAS II-2/28-1.3, através da MSC.1/Circ.909. Os navios tipo *Ro-Ro* são aqueles que possuem uma rampa na proa ou na popa por onde a carga é transportada para dentro e para fora do navio através de veículos ou plataformas equipadas com rodas, sendo os *Ro-Pax* caracterizados pelo transporte de cargas e passageiros simultaneamente. A tendência crescente para construção desse tipo de navio foi observada a partir de meados dos anos 2000 para competir com as companhias aéreas de baixo custo, para as quais a navegação havia perdido significativa parcela do mercado de transporte.

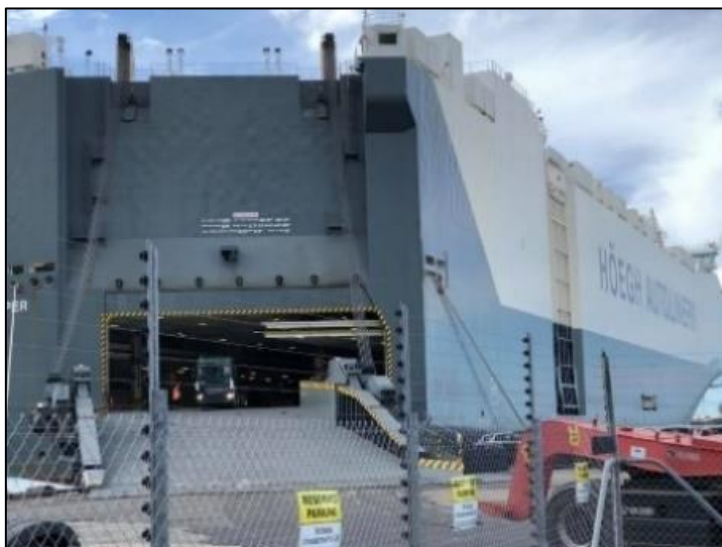


Figura 14 – Navio *Ro-Ro*.
Fonte: Elaboração da Autora, 2018

Em complementação, a IMO solicitou ao subcomitê de proteção contra fogo (FP - *Sub-Committee on Fire Protection*), que fossem desenvolvidas adicionalmente diretrizes para análise de evacuação de navios de passageiros em geral e de embarcações de passageiros de alta velocidade. Em 2001, seguindo a recomendação do subcomitê, a IMO aprovou a MSC.1/Circ.1001, contendo as diretrizes provisórias para a análise solicitada. Em 2002, ao aprovar a MSC.1/Circ.1033 contendo as diretrizes provisórias para análise de evacuação de navios de passageiros novos ou já existentes, a IMO sugeriu a órgãos governamentais que coletassem dados resultantes de atividades de pesquisa e desenvolvimento, assim como de testes em larga escala, experimentos sobre comportamento humano ou quaisquer outros relevantes para futuras atualizações das diretrizes, e os submetessem ao FP. Em 2005, à luz da experiência obtida com a aplicação das diretrizes provisórias, foi aprovada a MSC.1/Circ.1166, apresentando as diretrizes para análise de evacuação simplificada de embarcações de alta velocidade para passageiros.

Em 2007, a resolução MSC.1/Circ.1238 passa a orientar a análise de evacuação de navios de passageiros novos ou já existentes, oferecendo a possibilidade de utilização de dois métodos distintos: a análise simplificada e a análise avançada, descritas no capítulo 5 deste documento. Órgãos governamentais são convidados a levar as diretrizes a todos os agentes da cadeia produtiva naval, e recomendá-las na condução de análises de evacuação de navios *Ro-Ro*, de acordo com os regulamentos SOLAS II-2/28-1.3 e II-2/13.7.4 (em vigor a partir 01 de julho de 2002), e incentivar sua utilização na análise de demais navios de passageiros, novos ou já existentes. Além da recomendação usual de

coleta e posterior submissão ao FP de informações e dados resultantes de atividades de pesquisa e desenvolvimento que pudessem contribuir para futuras atualizações das diretrizes e transmissão da experiência adquirida na implementação dessas diretrizes, essa versão fornece um guia de validação/verificação das ferramentas de simulação para o método de análise avançada, que será utilizada nesta pesquisa.

Até o fechamento desse trabalho, a última resolução aprovada pela IMO foi a MSC.1/1533 - Diretrizes Revisadas para Análise de Evacuação de Navios Novos ou Já Existentes, de 2016, que tornar-se-á obrigatória na análise de evacuação de navios de passageiros, não apenas do tipo *Ro-Ro*, construídos a partir de 01 de janeiro de 2020.

Quadro 3 - Quadro Evolutivo das Resoluções da IMO para Análise de Evacuação.

1999	2001	2002	2005	2007	2016
MSC.1/Circ.909	MSC.1/Circ.1001	MSC.1/Circ.1033	MSC.1/Circ.1166	MSC.1/Circ.1238	MSC.1/Circ.1533
DIRETRIZES PROVISÓRIAS PARA UMA ANÁLISE DE EVACUAÇÃO SIMPLIFICADA DE NAVIOS DE PASSAGEIROS RO-RO	DIRETRIZES PROVISÓRIAS PARA ANÁLISE DE EVACUAÇÃO SIMPLIFICADA DE EMBARCAÇÕES DE ALTA VELOCIDADE PARA PASSAGEIROS	DIRETRIZES PROVISÓRIAS PARA ANÁLISE DE EVACUAÇÃO DE NAVIOS NOVOS OU JÁ EXISTENTES	DIRETRIZES PARA UMA ANÁLISE DE EVACUAÇÃO SIMPLIFICADA DE EMBARCAÇÕES DE ALTA VELOCIDADE PARA PASSAGEIROS (Substitui a MSC.1/Circ.1001)	DIRETRIZES PARA ANÁLISE DE EVACUAÇÃO PARA NAVIOS NOVOS OU JÁ EXISTENTES (Substitui a MSC.1/Circ.1033)	DIRETRIZES REVISADAS PARA ANÁLISE DE EVACUAÇÃO PARA NAVIOS NOVOS OU JÁ EXISTENTES (Em vigor a partir de 2020)

Fonte: Elaboração da Autora, 2015

4.4 Modelagem para Análise de Evacuação de Navios

4.4.1 Origem dos Modelos de Evacuação

Pesquisas para quantificar e modelar o movimento e o comportamento do homem existem há mais de 30 anos, com duas vertentes progredindo paralelamente: uma se

concentrando no movimento das pessoas em condições normais, fora de situações de emergência, e outra se preocupando com o desenvolvimento da capacidade de se prever o movimento das pessoas sob condições de emergência, como o resultado da evacuação de um prédio sob ameaça de fogo.

A necessidade da análise de evacuação em situações de emergência foi observada originalmente na construção civil e duas técnicas foram inicialmente desenvolvidas para assegurar que os ocupantes dos prédios seriam evacuados com eficiência: demonstração de evacuação em larga escala e adesão a códigos de construção prescritos.

A demonstração de evacuação em larga escala envolve a realização de exercícios de evacuação utilizando uma população representativa dos frequentadores do empreendimento em análise. Tal abordagem apresenta problemas éticos, práticos e financeiros, sendo sua viabilidade questionável. Os envolvidos nos exercícios não devem ser submetidos a situações que os conduza a traumas psicológicos, nem às consequências físicas de uma emergência real contendo fogo, fumaça e detritos (no caso de navios, ainda existe a possibilidade de inundações). Entretanto, a ausência dessas variáveis torna as informações obtidas pouco úteis, pois não traduzem a resposta a uma emergência real. O risco de lesionar um participante meio ao cenário realístico requerido nesse tipo de demonstração é um grande empecilho à aplicação dessa técnica. Na prática, quando esse método de análise é adotado, geralmente um único exercício é efetuado, e do ponto de vista de projeto, um resultado individual não fornece informações suficientes para levar à reorganização do layout de uma estrutura. Já a aplicação de repetidos experimentos pode não mais provocar o efeito surpresa sobre os participantes, levando a resultados pouco confiáveis a respeito do processo de evacuação. Deve-se ressaltar ainda que esse tipo de teste é realizado após a conclusão da construção da estrutura e qualquer modificação requerida no projeto se torna extremamente dispendiosa.

Em projetos onde os códigos de construção prescritos são adotados, assume-se que se *critérios de construção* forem obedecidos, a segurança do empreendimento estará garantida. A abordagem prescritiva adota parâmetros baseados em resultados de experiências anteriores e apenas indica os requisitos necessários à construção de um empreendimento, não envolvendo os projetistas no processo de avaliação do grau de segurança deste. Na indústria naval, a insuficiência de dados a respeito de acidentes envolvendo navios com designs inovadores impossibilita a obtenção de uma amostra

representativa para cálculos estatísticos, reduzindo drasticamente a eficiência desse método.

Para atender as necessidades de projetistas e legisladores, os modelos computacionais de evacuação ofereceram o potencial de superação dessas deficiências. A gestão de riscos passa a ser apoiada pelas simulações computacionais que promovem análises mais elaboradas, em que resultados são avaliados estatisticamente com nível de confiança suficiente para garantir melhores decisões. Associadas às simulações, consultas formais a especialistas complementam os dados considerados nas avaliações. As empresas de construção naval e transporte marítimo passaram a utilizar a chamada análise probabilística de risco (PRA) na década de 1990, a partir de recomendações contidas no relatório a respeito do acidente com o *MS Herald of Free Enterprise*. O navio do tipo *Ro-Ro* não contava com compartimentos estanques e saiu do porto com a porta de entrada/saída de cargas aberta, virando 23 minutos depois de sua partida. O acidente, que ocorreu em março de 1987, matou 193 das 539 pessoas a bordo, surpreendidas pela rápida inundação dos decks.



Figura 15 – Naufrágio do Navio *MS Herald of Free Enterprise*.
Fonte: <https://www.perdurabo10.net/uploads/4/3/2/7/43277353/herald3.jpg?564>

4.4.2 Fatores de Evacuação de Navios

No caso dos navios, inundações e incêndios constituem os principais perigos que podem levar à necessidade de evacuação. Se esses perigos se transformarem em situações incontrolláveis, deve-se assegurar que TODAS as pessoas a bordo possam ser evacuadas com segurança. A análise de evacuação deve, portanto, ser baseada no desenvolvimento de um sistema que garanta essa afirmação em um nível aceitável de confiança. Um modelo de evacuação simula e avalia os efeitos produzidos pelos fatores

inerentes à evacuação, fatores esses que afetam significativamente o comportamento e as decisões das pessoas a bordo. Segundo GWYNNE *et al.* (1998), os fatores de evacuação podem ser divididos em quatro categorias: configuração, ambiente, procedimento e comportamento.

As considerações em relação à configuração de um recinto são aquelas tradicionalmente contempladas nos códigos de construções, que englobam os efeitos da geografia, topologia e geometria da estrutura sobre o comportamento das pessoas. São incluídos nessa categoria aspectos físicos como layout do recinto, largura, número e arranjo das saídas de emergência, largura dos corredores, distância a ser percorrida pelos evacuados, posicionamento de obstáculos nas rotas de fuga, sinalização, estações de concentração e postos de embarque.

Os aspectos do ambiente no qual os evacuados estão inseridos têm influência direta nas atitudes destes durante a evacuação. No caso de um incêndio, por exemplo, deve-se descrever os efeitos decorrentes do calor, de gases tóxicos, da crescente fumaça densa, da fuligem e, eventualmente, da inundação, que reduzem drasticamente a capacidade para se encontrar saídas de emergência.

Os aspectos relacionados a procedimentos, envolvem as ações da tripulação, o conhecimento prévio da configuração do navio por parte dos ocupantes (passageiros e tripulação) e o nível de treinamento de todos a bordo. A familiaridade dos passageiros com as saídas e a habilidade para encontrar os pontos de reunião, incluídas nessa categoria, dependem da assistência da tripulação e da sinalização de emergência.

Na categoria comportamento, possivelmente a mais relevante, observa-se o impacto de um grande número de influências sobre o comportamento dos ocupantes, que nem sempre é aquele esperado. Nessa categoria, faz-se análise a respeito da influência de fatores como idade, gênero, classe social ou nível de instrução dos ocupantes, sobre aspectos como resposta inicial ao chamado de evacuação, velocidade de deslocamento esperada, habilidade do indivíduo em realizar ações desejadas, adoção de regras específicas, interação entre indivíduos e grupos, dentre outros. Os métodos tradicionais utilizados em projeto de edificações não levavam em consideração todas essas questões, preferindo seguir as regras dos códigos prescritos, baseadas apenas nos aspectos de configuração, e que demonstraram ser muito restritas ao longo do tempo. Ao serem insensíveis ao comportamento humano e aos prováveis cenários

de situações de emergência, não ficava evidente se realmente ofereciam uma solução ótima em termos de eficiência de evacuação.

4.4.3 Técnicas de Desenvolvimento de Modelos de Evacuação

Uma série de diferentes modelos foram implementados e podem representar diferentes abordagens. Para uma avaliação correta do propósito original pretendido por cada um deles, deve-se identificar a capacidade computacional da época do desenvolvimento de cada um e a formação dos desenvolvedores: físicos, engenheiros, psicólogos, arquitetos e demais cientistas de modo geral. Apesar de todos os modelos de evacuação focarem nos problemas comuns às situações de emergência, a abordagem, o grau de sofisticação e a precisão dos resultados variam enormemente de um para outro. O objetivo do modelo, o método utilizado para representar a construção, a perspectiva da população e a perspectiva comportamental definem a natureza de cada modelo.

O grupo a ser evacuado pode ser classificado como homogêneo ou heterogêneo. A categoria de modelos que considera o grupo homogêneo concentra-se apenas na capacidade deste em transitar pela estrutura, não reconhecendo o comportamento individual de cada agente. Esse tipo de modelo frequentemente considera os agentes como seres não pensantes, que respondem automaticamente a um estímulo externo, delineando a população através de uma perspectiva global. Assume-se que as pessoas cessam imediatamente qualquer atividade para evacuar a estrutura. A direção e a velocidade adotadas pelos ocupantes são determinadas através de aspectos físicos, como a densidade da população e a capacidade das saídas. As atividades periféricas são desconsideradas. Na aplicação desse padrão, a individualidade dos integrantes é ignorada, e o deslocamento é analisado em massa. Um exemplo desse tipo de contemplação é a adotada para análise de evacuação de estádios em situações de emergência em eventos esportivos ou festivais de música.

Antagonicamente, na categoria de modelos que considera o grupo de evacuados heterogêneo correlaciona-se movimento e comportamento. Características pessoais como sexo, idade, nível de conhecimento do ambiente, deficiências e habilidades são levadas em consideração, influenciando diretamente o processo decisório dos evacuados. Os indivíduos são tratados como agentes ativos e as respostas aos estímulos são computadas, como o tempo de reação aos avisos e as saídas preferencialmente utilizadas. Os modelos baseados na perspectiva individual representam uma população

diversificada, cuja evolução no processo de evacuação depende dos diferentes traços dos seus agentes, permitindo o rastreamento da história e trajetória de cada um. A perspectiva de análise do processo decisório independente não incapacita o modelo de implementar comportamento de grupo, apenas examina o comportamento de cada ocupante e depois o localiza na ação do grupo.

A dinâmica da evacuação é considerada macroscópica quando o movimento é observado globalmente, e microscópica ao se observar as interações entre os indivíduos e destes com o ambiente.

Em todos os modelos, o compartimento a ser evacuado tem que ser representado. O espaço em questão é dividido em subregiões, e cada uma delas conectada às subregiões vizinhas. A resolução dessas subdivisões distingue dois diferentes métodos de representação, a malha fina e a malha grossa. Ao se utilizar a malha fina, por exemplo, todo o piso do compartimento é coberto por nós. O formato e tamanho de cada nó varia de modelo para modelo. Em 1998, GWYNNE *et al.* analisaram as diferentes técnicas combinadas em 22 modelos de evacuação, 16 disponíveis e 6 em desenvolvimento na época. A título de ilustração, destaca-se na Figura 16, as técnicas utilizadas por 12 desses modelos analisados. Dentre os softwares que apresentavam utilização de malha fina, destaca-se o Simulex, o MaritimeEXODUS e o Egress. O primeiro adotando quadrados de lado igual a 0,25 m, o segundo utilizando quadrados de 0,5 m de lado, e o terceiro empregando nós hexagonais com área suficiente para conter um único ocupante por nó.

MODELOS DE SIMULAÇÃO			
Bgraf	Donegan	Egress	E-Scape
EvacSim	Exit89	Exitt	Exodus
Magnet	Paxport	Simulex	Vegas

Malha Fina	
Bgraf	Egress
Exodus	Magnet
Simulex	Vegas

Malha Grossa	
Donegan	E-Scape
EvacSim	Exitt
Exit89	Paxport

População sob Perspectiva Individual
--

População sob Perspectiva Individual	População sob Perspectiva Global
--	--

Bgraf	Egress	E-Scape	Donegan
Exodus	Magnet	EvacSim	Exit89
Simulex	Vegas	Exitt	Paxport

Figura 16 – Perspectivas de Modelos de Evacuação.

Fonte: Elaboração da Autora, 2015.

As técnicas de modelagem ainda podem ser classificadas quanto ao tipo de deslocamento no tempo e no espaço, onde o acompanhamento da movimentação da população através das malhas pode ser realizado de forma contínua ou discreta.

4.4.4 Abordagens Metodológicas para Análise de Evacuação

XIAPOING *et al.*, (2009) identificaram sete abordagens metodológicas utilizadas nas últimas décadas para análise de evacuação, a partir da combinação dos parâmetros apresentados no item anterior. Essas abordagens abrangem modelos baseados em autômatos celulares, rede gasosa, dinâmica de fluidos, forças sociais, baseada em agentes, teoria de jogos e experimentos com animais.

A modelagem Autômato Celular (*Cellular Automata Models – CA*) utiliza uma rede de células para representar a estrutura, com capacidade máxima de uma entidade por célula. Cada célula pode estar permanentemente ocupada, no caso de estar representando obstáculos (como móveis ou paredes), ou estarem livres para ocupação temporária de indivíduos (autômatos). O acompanhamento da movimentação desses indivíduos é realizado através de um sistema dinâmico discreto no tempo e no espaço, onde o autômato se desloca pela rede em intervalos de tempo pré determinados. Os modelos que adotam essa técnica trabalham em escala microscópica e podem ser utilizados tanto para avaliação da configuração do espaço a ser evacuado (ao considerar o grupo homogêneo), quanto para a análise das interações entre os agentes (considerando o grupo heterogêneo), em situações normais ou emergenciais.

Na modelagem em Rede Gasosa (*Lattice Gas Models – LG*) os grupos são considerados sempre homogêneos. A representação da estrutura a ser evacuada é análoga à da modelagem Autômato Celular divergindo apenas na maneira como os agentes se movimentam, sendo assim considerada um caso particular desta última. Cada indivíduo atua como uma partícula de gás e a massa a ser evacuada se desloca como um fluido pela rede. Assim como no caso anterior, atua em escala microscópica, e pode ser aplicada em situações normais ou de emergência. Ao utilizarem sistemas dinâmicos

discretos, ambos são facilmente implementáveis computacionalmente, o que confere à esses modelos particular aplicabilidade para simulações em larga escala.

A modelagem baseada em Dinâmica dos Fluidos (*Fluid Dynamics Models – FD*) considera que a movimentação de grandes concentrações de pessoas apresenta características similares a fluidos em movimento, utilizando sistemas dinâmicos contínuos. Ao se aproximar de obstáculos ou gargalos durante o deslocamento, a massa de indivíduos assume o padrão de fluidos em regime turbulento. Nesses modelos, os grupos são considerados homogêneos e observados em uma escala macroscópica, sendo muito úteis para análise de evacuação de multidões.

A modelagem baseada em Forças Sociais (*Social Forces Models – SF*) é caracterizada pela dependência do movimento dos agentes em relação ao somatório de forças que agem sobre eles. Essas forças podem ser de atração ou repulsão, oriundas de interações entre os agentes e deles com o meio. Durante seu deslocamento, visando atingir um determinado ponto da estrutura, os agentes precisam manter distâncias mínimas de obstáculos e de outros agentes (determinantes das forças de repulsão), ao mesmo tempo que são atraídos por pessoas de interesses comuns, como amigos ou familiares, e objetos que auxiliam a evacuação, como portas e janelas (determinantes das forças de atração). Esses modelos utilizam sistema dinâmico contínuo para acompanhar a movimentação de grupos considerados exclusivamente homogêneos.

A modelagem Baseada em Agentes (*Agent Based Models – AB*) permite que os agentes representados possuam comportamentos individuais, ou seja, o grupo é considerado heterogêneo. Cada agente é dotado de poder de decisão e suas ações e interações são avaliadas ao longo da evacuação, assim como seus efeitos sobre esta. Esse tipo de modelagem se torna mais representativa da realidade, uma vez que é capaz de conceber estruturas sociais complexas. Em situações de pânico, onde a aleatoriedade das ações dos evacuados impossibilita a coordenação destes para se considerar a população homogênea, esse tipo de modelagem é a mais apropriada. A maior dificuldade enfrentada nesse tipo de modelo é a capacidade computacional requerida, sendo bem maior que dos modelos descritos anteriormente.

Na modelagem baseada na Teoria dos Jogos (*Game Theoretical Models – GT*), os evacuados são integrantes de um jogo, onde o objetivo principal é escapar de uma situação de risco. Os agentes precisam traçar estratégias para atingir esse objetivo, onde cada ação depende de uma escolha racional, tornando esse tipo de modelagem ineficaz para situações de pânico. Nos modelos GT, as decisões tomadas por cada agente

dependem das ações de todos os outros participantes, e assim como modelos AB, requerem complexa implementação computacional.

As modelagens baseadas em experimentos com animais só se aplicam a grupos homogêneos tendo-se em vista a impossibilidade de se atribuir características humanas aos envolvidos. Entretanto, o comportamento dos animais em situações de pânico, é muito similar ao de multidões. Em face dos problemas éticos e legais enfrentados em experimentos reais com seres humanos em situações de pânico, o uso de animais simulam satisfatoriamente comportamento de grupos.

Durante o desenvolvimento de sua tese de doutorado, SICURO (2016) identificou a aplicação destas abordagens em diversas pesquisas a respeito do comportamento humano em situações de emergência. No Quadro 4, expõe-se as técnicas utilizadas por alguns pesquisadores em seus estudos, dentre eles: o efeito que membros de uma mesma família exercem sobre o fluxo de evacuação, a relação inversamente proporcional entre o desejo de se deslocar rapidamente e a velocidade real de evacuação de um grupo (efeito *faster-is-slower*), formação de filas e o “empurra-empurra” (*pushing*), propagação de pânico e o tempo que uma pessoa consegue se manter em uma fila até retornar e optar por outra alternativa (*back-stepping*), e ainda o efeito de obstáculos e a tendência que algumas pessoas têm de seguir outras (*herding*).

Quadro 4 - Estudos do Comportamento Humano em Situações de Emergência.

Estudo Sobre Comportamento Humano	Pesquisadores	Técnicas Utilizadas
Efeito do parentesco sobre a evacuação.	YANG <i>et al</i> , 2005	CA e SF
Estudo de gargalos e do efeito <i>faster-is-slower</i> .	SONG <i>et al</i> , 2006	CA e SF
Estudo de formação de filas, <i>pushing</i> , propagação de pânico e <i>back-stepping</i> .	PELECHANO <i>et al</i> , 2007	AB E SF
Efeito de obstáculos e <i>herding</i> .	TOYAMA <i>et al</i> , 2006	AB e CA

Fonte: Adaptado de SICURO, 2016

5 Métodos de Análise de Evacuação da IMO

A IMO desenvolveu dois métodos para análise de evacuação de navios: o método simplificado e o método avançado. As suposições adotadas no método simplificado, apresentam limitações que as tornam pouco representativas da realidade à medida que a complexidade dos projetos aumenta. No caso de navios de passageiros, com análise prevista em norma, as características dos ocupantes, os tipos de acomodações, número de conveses e escadas, onde projetos continuam a impulsionar os limites da inovação para maior conforto e entretenimento a bordo, esse método já pode ser considerado inócuo. Nesses casos mais complexos, é preferível utilizar o método avançado. Entretanto, em 1999, ao determinar que a análise de evacuação de navios deveria ser realizada na fase de projeto, a IMO constatou que os sistemas de simulação computadorizados ainda estavam em desenvolvimento e decidiu que o método simplificado seria utilizado interinamente, adaptado na MSC.1/909, como visto anteriormente.

5.1 Método Simplificado ou Macroscópico

O método simplificado é baseado em cálculos que utilizam fatores de influência sobre a evacuação dos passageiros de natureza estática, como largura de corredores, número de saídas, rotas de fuga, estações de concentração, postos de embarque e meios de salvamento. Os arranjos de escape passam por avaliações macroscópicas onde elementos físicos ineficientes são evidenciados. A finalidade dessa análise é a de fornecer dados suficientes para identificação de congestionamentos, para então reduzi-los tanto quanto possível.

Observa-se, porém, que a evacuação de um navio de passageiros envolve a movimentação e o processo decisório de centenas, e em alguns casos, até de milhares de pessoas simultaneamente. Pode-se dizer que todo o processo de evacuação depende principalmente do comportamento dos evacuados. Na análise macroscópica, muitos fatores importantes não são levados em consideração, como a idade, sexo e características das diferentes personalidades das pessoas a bordo, ou os efeitos sobre a velocidade de deslocamento dos evacuados, como a ação das ondas e o contrafluxo - durante o processo de evacuação de um navio, além da movimentação normal de passageiros e tripulantes ao longo das rotas de fuga, deve-se levar em consideração que

a tripulação pode ser obrigada a se mover em sentido oposto ao movimento dos passageiros. O contrafluxo em situações de emergência em navios inicialmente deve-se ao fato de que ao ser acionado o alarme para a evacuação, passageiros e tripulantes devem seguir para os pontos de encontro devidamente munidos de coletes salva-vidas, e como esses equipamentos ficam disponíveis nos dormitórios (onde cada ocupante também encontra o número da balsa em que deve embarcar para abandonar o navio) o movimento começa de forma desordenada. Nos pontos de encontro, são realizadas chamadas para que cada grupo possa seguir para as balsas designadas e na ausência de algum integrante, a equipe de busca volta para procurá-lo, em contrafluxo à evacuação. Além disso, pode surgir a necessidade de alguns tripulantes se deslocarem no sentido oposto ao da evacuação para realizarem tarefas com o intuito de minimizar os efeitos do evento causador da emergência.

O mérito da aplicação desse método reside na sua relativa facilidade de uso e na capacidade de fornecer uma aproximação do desempenho esperado na evacuação. Os resultados da análise indicam quando o tempo máximo permitido para a evacuação foi excedido, apontando a necessidade de adequação em relação às medidas operacionais, tais como ajustes nos procedimentos de emergência a bordo, melhorias na sinalização e implementação no treinamento da tripulação.

5.2 Método Avançado ou Microscópico

Um fator que tem se mostrado agravante em relação aos acidentes marítimos é o que diz respeito à acelerada inovação do design e layout das embarcações que, tão rapidamente, torna obsoletas as normas de segurança aplicadas à construção destas. As autoridades marítimas precisam constantemente introduzir novas regulações para esses designs alternativos, e nesse processo o estado da arte de ferramentas de simulação as auxilia a classificar os níveis de segurança desses empreendimentos. A IMO preocupou-se em desenvolver um método microscópico de análise de evacuação, baseado em modelos de simulação, chamado de método avançado.

A fim de superar as limitações da análise macroscópica de evacuação, modelos de simulação começaram a ser desenvolvidos. Esses softwares foram criados originalmente a partir dos modelos utilizados pela construção civil, apresentados no capítulo anterior. Os modelos de simulação foram amplamente aplicados em projetos de edificações, porém a dificuldade em adaptá-los para projetos de navios conduziu grupos de

engenheiros e pesquisadores a dirigirem seus esforços para desenvolver novos e avançados modelos especificamente para o setor naval. Uma das principais dificuldades enfrentadas na adaptação de simulações utilizadas na construção civil para a construção naval, refere-se à despreocupação em relação às condições do meio ambiente externo no primeiro caso. Na construção naval, deve-se considerar que a estabilidade dos navios é diretamente afetada por fatores meteorológicos (temperatura, pressão e umidade) e oceanográficos (ondas, ventos e correntes), que conseqüentemente exercem influência sobre a velocidade de deslocamento dos evacuados.

Diversos modelos de evacuação foram desenvolvidos ao longo dos anos, por diferentes grupos de pesquisadores, porém muitos deles possuíam restrições. Inicialmente, dificuldades técnicas de implementação e escassez de meios computacionais impediam a avaliação simultânea do efeito de todos os fatores envolvidos na evacuação. Além disso, muitos deles utilizavam modelos de comportamento humano extremamente simplificados, que não expressavam a complexa natureza das reações dos indivíduos. Aspectos como a interação entre os evacuados, as orientações transmitidas pela tripulação e o comportamento de grupos específicos não eram possíveis de serem reproduzidos em modelos tão simples.

Para realização das investigações propostas nessa pesquisa foram seguidas as diretrizes da norma vigente: MSC.1/Circ.1238 (Diretrizes para Análise de Evacuação de Navios de Passageiros, Novos ou Já Existentes). As diretrizes apresentadas na norma oferecem possibilidade de utilização dos dois métodos distintos, simplificado e avançado, tendo sido escolhido o método avançado para as análises aqui desenvolvidas. As informações fornecidas pela MSC.1/Circ.1238 guiam os usuários de modo a assegurar uniformidade de aplicação das diretrizes, e nelas são encontrados cenários típicos de referência e dados relevantes. As simulações propostas para esses cenários-referência aumentam a segurança em projetos de navios, uma vez que identificam a disposição inadequada das saídas de emergência, pontos de congestionamento e otimizam a organização do processo de evacuação. Tendo-se em vista que quase todos os dados e parâmetros fornecidos nas diretrizes são baseados em dados advindos da experiência na construção civil, quando informações atualizadas oriundas da indústria naval são fornecidas por órgãos governamentais realizam-se reavaliações de figuras, parâmetros, referências e desempenhos-padrão definidos nas diretrizes. Dessa forma, os dados e resultados provenientes de pesquisas aplicadas à

navios são de fundamental importância para aperfeiçoamento das análises, o que vem a legitimar o presente estudo.

5.3 Parâmetros dos Métodos de Análise de Evacuação

Para alcançar os propósitos da investigação, como identificar os congestionamentos ocasionados pela movimentação de passageiros e tripulação ao longo das rotas de fuga e o tempo necessário à evacuação do navio, a IMO estabelece quatro parâmetros a serem determinados nas análises de evacuação: carga de pessoas, tempo de conscientização, tempo de trajeto e tempo de embarque e lançamento. Pretende-se também avaliar no processo se o plano de escape e abandono é suficientemente flexível para prever a possibilidade de que certas rotas de fuga, pontos de encontro, pontos de embarque ou barcos de salvamento possam estar indisponíveis em consequência de desdobramentos do acidente principal.

A carga de pessoas é o número de agentes considerados nos cálculos referentes aos meios de escape.

O tempo de resposta ou de conscientização reflete o tempo total gasto nas atividades de pré evacuação. É o tempo que uma pessoa leva para reagir a uma situação de emergência. Esse tempo começa a ser contado no momento de uma notificação inicial de emergência, como um alarme, e termina quando o passageiro aceita a situação e começa o movimento em direção ao ponto de encontro. Esse parâmetro envolve questões quanto à percepção da sinalização, interpretação das instruções, tempo de reação individual e o desempenho da miscelânea de atividades que compõem a pré evacuação. No método simplificado, considera-se que esse tempo seja de 5 minutos em situações de emergência diurnas, e 10 minutos para cenários noturnos. O cálculo do tempo de resposta para o método avançado segue as recomendações baseadas em dados coletados em testes no mar por GALEA *et al.* (2007). A densidade de probabilidade (y) para o tempo de resposta (x) obedece a distribuição normal logarítmica truncada, conforme as funções apresentadas a seguir, para casos de evacuação noturnos e diurnos definidos na IMO, 2007.

Para casos noturnos:

$$y = \frac{1.01875}{\sqrt{2\pi} 0.84 (x - 400)} \exp \left[-\frac{(\ln(x - 400) - 3.95)^2}{2 \times 0.84^2} \right]$$

onde x está expresso em segundos e varia entre 400 e 700.

Para casos diurnos:

$$y = \frac{1.00808}{\sqrt{2\pi} \cdot 0.94x} \exp \left[-\frac{(\ln(x) - 3.44)^2}{2 \times 0.94^2} \right]$$

onde x está expresso em segundos e varia entre 0 e 300.

O tempo de deslocamento ou trajeto é definido como aquele necessário para que todas as pessoas a bordo saiam de onde se encontram no momento da notificação de emergência, sigam até os pontos de encontro e depois até as estações de embarque. Ou seja, é o tempo necessário para percorrer as rotas de fuga. No caso da análise simplificada, utiliza-se:

$$T = (\gamma + \delta) \cdot t_i$$

Onde:

γ = Fator de correção

$\gamma = 2,0$ para os cenários especificados pelo FSS Code (expostos no item 5.4)

$\gamma = 1,3$ para os cenários especificados pela MSC.1/Circ.1238 (expostos no item 5.4)

δ = Fator de correção de contrafluxo

$\delta = 0,3$

t_i = O mais alto tempo (em segundos) encontrado para se percorrer a rota de fuga em condições ideais.

Na pesquisa que gerou esta tese, foi utilizado o método avançado e os valores adotados para o tempo de trajeto nesse tipo de análise são obtidos a partir das simulações computacionais. A fórmula utilizada pelo método simplificado foi aqui apresentada para destacar que apesar da IMO admitir a aplicação do método macroscópico, fatores de correção são inseridos nos cálculos, demonstrando sua preocupação em se considerar aspectos suprimidos nesse tipo de análise.

O tempo de embarque e lançamento é o resultado do tempo requerido para providenciar o abandono do navio do número total de pessoas a bordo.

Dessa forma, o tempo total necessário à evacuação é obtido considerando o tempo de resposta, o tempo de trajeto e o tempo de embarque e lançamento.

Alguns pressupostos são necessários para estimativa do tempo total de evacuação e diferem segundo o tipo de análise, simplificada ou avançada. Todos os tempos aceitáveis para evacuação contidos nas diretrizes da IMO são baseados em análise de risco de incêndio.

Na análise simplificada, método de estimativa de tempo para evacuação básico por natureza, considera-se que todos os passageiros e tripulantes iniciam a evacuação simultaneamente e nenhum dos agentes interfere no processo dos demais. Já na análise avançada, passageiros e tripulação são representados como indivíduos únicos com habilidades e tempos de resposta específicos, onde as simulações em computador permitem representação detalhada do layout do navio e da interação entre os ocupantes e o layout.

Nos dois métodos de análise, a carga de pessoas e a distribuição inicial são estabelecidas no capítulo 13 do FSS Code (Código do Sistema de Segurança Contra Fogo), adotado através da resolução MSC.98(73), de dezembro de 2000, de cumprimento obrigatório. Este capítulo detalha as especificações para meios de escape como requerido no capítulo II-2 da Convenção SOLAS. Pressupõe-se que a tripulação esteja imediatamente a postos para ajudar os passageiros. A menos que o contrário seja determinado, considera-se que haja total disponibilidade dos meios para evacuação.

No método simplificado, a velocidade inicial dos evacuados depende da quantidade de pessoas envolvidas, e assume-se que o fluxo exista apenas no sentido da rota de fuga, não havendo ultrapassagens ou impedimentos. Como visto, é adotado um fator de correção para o contrafluxo ($\delta=0.3$), e os passageiros seguem o sistema de sinalização e as instruções da tripulação, isto é, não há seleção de rotas.

O cálculo das velocidades para o método avançado é mais sofisticado. A população deve ser descrita em termos de idade, gênero (sexo), atributos físicos e tempos de resposta, e deve ser idêntica para todos os cenários avaliados, com exceção das localizações iniciais. A população deriva da seguinte composição: 7% dos passageiros é

formado por mulheres com menos de 30 anos, 7% por mulheres entre 30 e 50 anos, 16% por mulheres com mais de 50 anos, 20% por mulheres com mais de 50 anos e mobilidade reduzida, 7% por homens com menos de 30 anos, 7% por homens entre 30 e 50 anos, 16% por homens com mais de 50 anos e 20% por homens com mais de 50 anos e mobilidade reduzida; e para a tripulação considera-se 50% mulheres e 50% homens. Para o estudo de caso desta pesquisa, as orientações relacionadas aos dados demográficos sugeridas pela IMO serão adaptadas para retratar fidedignamente o cenário encontrado em navios de transporte de carga da marinha mercante, como será visto no item 6.5.

As velocidades de trajeto em terrenos planos são determinadas em função do sexo e da idade do agente, e são oriundas dos dados publicados por ANDO *et al.* (1998). No caso das escadas, além do sexo e da idade, existe a dependência do sentido do trajeto, subida ou descida da escada. As velocidades máximas assumidas em escadas são derivadas dos dados gerados por FRUIN (1971), cujo estudo compreende configuração de duas escadarias. Os valores adotados na norma encontram-se nas Tabelas 2 e 3 apresentadas a seguir.

Tabela 2 – Velocidade de Caminhada no Plano.

Grupos de Passageiros	Velocidade (m/s)	
	Mínimo	Máximo
Mulheres < 30 anos	0.93	1.55
Mulheres entre 30 e 50 anos	0.71	1.19
Mulheres > 50 anos	0.56	0.94
Mulheres > 50 anos mob. red. 1	0.43	0.71
Mulheres > 50 anos mob. red. 2	0.37	0.61
Homens < 30 anos	1.11	1.85
Homens entre 30 e 50 anos	0.97	1.62
Homens > 50 anos	0.84	1.40
Homens > 50 anos mob. red. 1	0.64	1.06
Homens > 50 anos mob. red. 2	0.55	0.91
Grupos de Tripulantes	Velocidade (m/s)	
	Mínimo	Máximo
Mulheres	0.93	1.55
Homens	1.11	1.85

Fonte: Adaptada da MSC.1/Circ.1238

Tabela 3 – Velocidade de Caminhada em Escadas.

Grupos de Passageiros	Velocidade (m/s)
-----------------------	------------------

	Descida		Subida	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mulheres < 30 anos	0.56	0.94	0.47	0.79
Mulheres entre 30 e 50 anos	0.49	0.81	0.44	0.74
Mulheres > 50 anos	0.45	0.75	0.37	0.61
Mulheres > 50 anos mob. red. 1	0.34	0.56	0.28	0.46
Mulheres > 50 anos mob. red. 2	0.29	0.49	0.23	0.39
Homens < 30 anos	0.76	1.26	0.50	0.84
Homens entre 30 e 50 anos	0.64	1.07	0.47	0.79
Homens > 50 anos	0.50	0.84	0.38	0.64
Homens > 50 anos mob. red. 1	0.38	0.64	0.29	0.49
Homens > 50 anos mob. red. 2	0.33	0.55	0.25	0.41
Grupos de Tripulantes	Velocidade (m/s)			
	Descida		Subida	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mulheres	0.56	0.94	0.47	0.79
Homens	0.76	1.26	0.50	0.84

Fonte: Adaptada da MSC.1/Circ.1238

Para determinação completa da população é necessária ainda a computação da velocidade de fluxo de saída através de portas. Para tal, calcula-se a densidade específica do fluxo, que é o número de pessoas que passam por um ponto da rota de fuga por unidade de tempo por unidade de largura da rota. A velocidade de fluxo para qualquer saída não deve ser superior a 1,33 pessoa/m·s, valor baseado em dados aceitos em aplicações da construção civil no Japão, Reino Unido e nos Estados Unidos.

O tempo de trajeto, tanto o previsto em modelos como o encontrado na vida real, é um valor aleatório por consequência da natureza probabilística do processo de evacuação. Pela MSC.1/Circ.1238, para que seu cálculo seja confiável, devem ser realizadas no mínimo 50 diferentes simulações para cada um dos quatro casos referências, fornecendo para cada caso, um total de 50 valores para o tempo de trajeto. São considerados apenas os valores a partir do percentil 95, isto é, valores maiores que 95% de todos os tempos calculados. Para estar de acordo com o desempenho exigido pela norma, deve-se considerar o mais alto tempo de trajeto obtido dentre todos os quatro casos. Na mais recente publicação, MSC.1/Circ.1533, que passa a vigorar em 2020, é exigido um mínimo de 500 simulações diferentes a serem realizadas para cada um dos casos de referência, que passam a ser 6 no total. O número mínimo de 500 simulações diferentes pode ser reduzido para 50 quando uma convergência é determinada por método adequado descrito na norma. A carga computacional requerida

para o teste de convergência é muito alta e as 50 simulações sugeridas inicialmente pela MSC.1/Circ.1238, ainda em vigência, serão aqui adotadas.

5.4 Cenários Referência

Pelo menos quatro cenários devem ser considerados para análise de evacuação. Dois cenários são especificados pelo FSS Code (capítulo 13), chamados de evacuação primária à noite (caso 1) e evacuação primária de dia (caso 2), utilizados nos dois métodos. Os outros dois cenários, chamados de evacuações secundárias investigam mais a fundo apenas a principal zona vertical que gera o mais longo tempo de trajeto em situações em que a rota de fuga principal está bloqueada. Utilizam a mesma população demográfica estabelecida no caso 1 para o caso 3 (evacuação secundária à noite) e a do caso 2 para o caso 4 (evacuação secundária de dia), conforme especificadas na MSC.1/Circ.1238. Para o método avançado pode-se considerar adicionalmente outros cenários relevantes.

Assim como adotados usualmente em outros campos da indústria, quatro categorias são necessárias para descrever os cenários propostos para as simulações: Geométrica, Populacional, Ambiental e Procedimentos.

Na categoria referente à geometria, descreve-se os *layouts* das rotas de fuga, sua obstrução e indisponibilidade parcial, e condições iniciais de distribuição dos passageiros e tripulação. Na categoria destinada à população, apresenta-se a variação dos parâmetros pessoais e dados demográficos. Na categoria destinada ao ambiente, são descritas as condições estáticas e dinâmicas do navio. E na categoria de procedimentos, são determinadas as condições dos membros da tripulação disponíveis para auxiliar em uma emergência.

É na categoria Geométrica que se define os cenários referência: casos 1 e 2, onde todas as rotas estão funcionando, e casos 3 e 4, onde presume-se que as rotas de fuga principais não estão disponíveis. Nos casos 1 e 2, considera-se que os passageiros e a tripulação seguem ao longo das rotas de escape primárias e conhecem o seu caminho até os pontos de encontro. Para tal, assume-se que a sinalização, o treinamento da tripulação e outros aspectos relevantes relativos ao projeto do sistema de evacuação e operação estão de acordo com as exigências fixadas nos instrumentos da IMO. Nos casos 3 e 4, considera-se que passageiros e tripulação foram orientados sobre a

indisponibilidade da rota de escape principal e seguirão ao longo de rotas de escape determinadas pelo projetista do navio.

A distribuição inicial dos passageiros e da tripulação são baseadas nos casos definidos no capítulo 13 do FSS Code, devendo-se incluir indicações adicionais apenas quando forem essenciais para as análises de evacuação. Se o número de pessoas calculado como indicado nos casos a seguir for maior do que o número autorizado para o navio, deve-se utilizar a capacidade do navio para a distribuição inicial de pessoas.

Caso 1 – Evacuação Primária Noturna

Os passageiros encontram-se nos camarotes com a capacidade máxima de camas ocupadas. Dentre os membros da tripulação, 2/3 encontra-se nos camarotes. Dentre os restantes, 50% deverá estar localizado em áreas de serviço e se comportará como passageiro (com tempo de reação e caminhada calculados na categoria Populacional), 25% deverá estar localizado nos pontos de emergência, não devendo ser modelados como passageiros, e 25% deverá estar localizado nas estações de encontro, devendo ir em direção ao camarote de passageiros mais distante em relação a estação em que se encontra, em contrafluxo com os que estão sendo evacuados – depois que o camarote for encontrado, essa tripulação não é mais considerada na simulação. A proporção entre os passageiros e a tripulação em contrafluxo deve ser a mesma em cada zona vertical principal.

Caso 2 – Evacuação Primária Diurna

Conforme definido pelo regulamento SOLAS II-2/3.39. 75% dos passageiros deverá estar ocupando espaços públicos. A tripulação deve ser distribuída da seguinte forma: 1/3 deve se comportar com passageiros, estando inicialmente em seus camarotes, 1/3 também deve se comportar como passageiros, porém estando inicialmente em áreas públicas, e 1/3 restante distribuído da seguinte forma: 50% deve estar localizado em áreas de serviço e se comportará como passageiros, 25% deverá estar localizado nos pontos de emergência e não devem ser modelados como passageiros, e 25% estará localizado nas estações de encontro e se movimentará em contrafluxo com os que estão sendo evacuados - depois que o camarote for encontrado, essa tripulação não é mais considerada na simulação. A proporção entre os passageiros e a tripulação em contrafluxo deve ser a mesma em cada zona vertical principal.

Nos casos 3 e 4, só a zona vertical principal é analisada mais atentamente. Esses casos utilizam as mesmas distribuições de pessoas descritas acima (orientações para o

caso 1 são utilizadas para o caso 3 e as referentes ao caso 2 para o caso 4) e as seguintes alternativas devem ser aplicadas:

Alternativa 1 - É considerada indisponível para a simulação o uso da escadaria com maior capacidade previamente utilizada na zona vertical principal.

Alternativa 2 - 50% das pessoas na vizinhança de uma das zonas verticais principais identificadas são obrigadas a ir para outra zona e seguir até uma estação de encontro. Deve ser selecionada a vizinhança da zona com maior população.

Na categoria Ambiental, deveriam ser descritos parâmetros que influenciam a velocidade de movimentação das pessoas, provenientes de condições estáticas e dinâmicas do navio. Entretanto, os efeitos desses parâmetros ainda não são considerados na análise proposta pela norma, uma vez que até a conclusão do documento não existiam dados coletados suficientes. No método simplificado, os efeitos do fogo, calor e fumaça de produtos tóxicos não são considerados como determinantes no desempenho dos evacuados, assim como o movimento, paradas e saltos do navio. Nesse caso, os efeitos do movimento do navio, da idade e dificuldade de mobilidade dos passageiros, da má visibilidade ocasionada pela fumaça e de corredores bloqueados com o desenrolar do incêndio são considerados através de um fator de segurança de 1,25, aplicado sobre o tempo total exigido para a evacuação (também utilizado no método avançado, porém neste último com o fim de corrigir omissões do modelo, suposições e a natureza dos cenários referência considerados). Os efeitos dos fatores listados acima não são impostos pela norma, porém, podem ser considerados nas análises avançadas através da integração de modelos de evacuação com modelos de incêndio e alagamento, como será visto no estudo de caso deste trabalho.

Para o propósito dos quatro casos referências, não é exigido modelar nenhum procedimento especial da tripulação que apenas deve estar de acordo com a distribuição proposta na categoria Geométrica.

6 Estudo de Caso

Conforme apresentado anteriormente, um grande número de acidentes navais decorre em função de incêndios. A utilização de modelos de simulação de incêndio e de evacuação é primordial para a análise dos perigos associados aos cenários decorrentes desse tipo de sinistro na navegação. A integração entre os modelos de incêndio e de evacuação conduz à abordagens mais realistas, incluindo nas avaliações as consequências que os efeitos do fogo e da fumaça exercem sobre a saúde dos evacuados. Projetistas e autoridades marítimas utilizam o estado da arte de ferramentas de simulação para medir a segurança nos grandes navios de cruzeiros, essencialmente com o intuito de garantir que o tempo para evacuar passageiros e tripulação a bordo seja suficiente. As ferramentas utilizadas neste trabalho se baseiam nos avanços recentes no campo de simulações e contínua pesquisa de modelagem do comportamento humano.

Além do tempo necessário à uma evacuação eficaz, as simulações fornecem a identificação dos pontos de congestionamento e/ou áreas críticas, providenciando recomendações para reduzir o número de pessoas aglomeradas e o tempo em que permanecem nesta situação. Levando-se em consideração que é responsabilidade dos proprietários dos navios garantirem a segurança dos embarcados por meio de medidas operacionais, se o resultado de uma análise conduzida em um navio já existente demonstrar que o tempo máximo permitido para a evacuação foi excedido, deve-se atualizar os procedimentos de emergência, aprimorar a sinalização e aperfeiçoar o treinamento da tripulação. O presente trabalho faz uso desses instrumentos para avaliar o desempenho relacionado à evacuação de navios de transporte de cargas em cenários críticos de incêndio, visando a redução do número de fatalidades em alto mar, visto que análise para esse tipo de navio não é exigida pelas normas atuais.

6.1 Delineamento do Cenário Nacional

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa foram realizadas dezenas de entrevistas com profissionais da marinha mercante e da Marinha do Brasil, de diversos setores da construção naval e transporte marítimo brasileiros. O questionário apresentado no Anexo A, com conteúdo voltado à evacuação de navios, foi aplicado com o intuito de nortear as entrevistas, durante as quais os profissionais tinham liberdade para

expressar seus pontos de vista a respeito da segurança na navegação segundo as experiências obtidas nas respectivas áreas de atuação. O Brasil é um dos Estados Membro da IMO tendo ratificado suas convenções, em especial a SOLAS, objetivando-se com a coleta desses depoimentos a verificação de como as orientações propostas em normas estão sendo interpretadas e efetivamente aplicadas no cenário nacional. Por questões de confidencialidade, as empresas citadas nas declarações foram suprimidas dos relatos aqui inseridos. Os pontos de atenção em relação à segurança de navios mais frequentemente mencionados pelos profissionais foram considerados nas análises desenvolvidas nesta investigação.

Grande parte das entrevistas aconteceu no ano de 2015 e um acidente foi tomado como referência por muitos dos especialistas em segurança consultados, por ter ocorrido naquele ano: a explosão do navio plataforma Cidade de São Mateus, na costa brasileira, no estado do Espírito Santo. Apesar desse tipo de navio não ser foco de análise para a presente pesquisa, os problemas relatados pelos profissionais que trabalharam na perícia do acidente ou o investigaram de alguma forma, são comuns a outros tipos de navios e foram considerados relevantes para as análises aqui desenvolvidas.

O navio não fora projetado originalmente para trabalhar com condensado (petróleo existente em estado gasoso nos reservatórios e estado líquido em condições normais de temperatura e pressão) e seus equipamentos eram adaptados conforme a demanda de cada operação. O reparo de um flange na casa de bombas, que estava fora dos padrões necessários ao funcionamento do sistema, não foi finalizado e uma raquete de vedação fora empregada para posterior conclusão do serviço, conforme ilustrado na Figura 17.

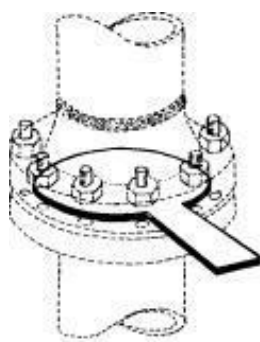


Figura 17 – Raquete para Vedação de Flanges.
Fonte: <http://www.ebah.com.br>

O equipamento foi colocado em operação antes do término do serviço e consequente retirada da raquete. Durante uma operação de transferência de fluidos entre tanques, a raquete não suportou a pressão imposta pelo condensado resultando em um vazamento. Ao constatarem que os detectores de gás indicavam atmosfera explosiva em concentrações diferentes das que estavam habituados a fazer leitura, os técnicos de segurança acreditaram que havia algum problema com os aparelhos. Após algum tempo, quando verificaram que havia um vazamento de fato, transmitiram o problema ao oficial responsável, que somente depois da quinta chamada dos técnicos enviou brigadistas ao local. Ao entrarem em um espaço confinado com altas concentrações de gases explosivos, provavelmente o atrito entre os equipamentos dos brigadistas gerou uma centelha que resultou em uma explosão, matando 9 tripulantes e ferindo outros 26.

O acidente aconteceu durante o horário de almoço, quando a maioria da tripulação estava no refeitório ou se deslocando próximo a ele. Apesar da pequena distância entre a casa de bombas e o refeitório, mesmo com todos os avisos enviados pelos técnicos de segurança a respeito do vazamento, o processo de evacuação só foi iniciado após a explosão. A notícia de que haviam vítimas, sendo algumas delas fatais, impôs à evacuação um caráter de descontrole generalizado. A reação dos tripulantes seria totalmente diferente caso a evacuação tivesse sido iniciada antes da explosão ocorrer. Os responsáveis por descer as baleeiras demonstraram pouca habilidade para a tarefa, aumentando o clima de insegurança entre os evacuados. Dos 5 helicópteros disponibilizados para esse tipo de acidente, apenas 1 pôde atender o Cidade de São Mateus e a demora para o resgate levou alguns tripulantes ao pânico, agravando ainda mais a situação.

Falhas técnicas, de procedimentos e de tomadas de decisão foram apontadas como causadoras do acidente. Os pontos considerados mais relevantes para esta pesquisa estão elencados a seguir.

- O estudo da interação homem x máquina no projeto de remodelagem do navio não recebeu o devido grau de atenção. As dúvidas relacionadas à leitura dos detectores de gás postergaram o início das investigações sobre o problema e o tempo disponível para a solução deste ficou drasticamente reduzido.
- Conforme questionado no item 4.2, a obediência irrestrita à hierarquia dos profissionais do navio foi determinante para o resultado trágico do acidente. O comandante é a autoridade máxima de um navio e responsável pelo início das ações de

mitigação em situações de emergência. Se o parecer dos técnicos de segurança fosse suficiente para transpassar a hesitação do comandante, a verificação do problema e o processo de evacuação teriam transcorrido sob condições menos severas.

- Além do processo de evacuação ter iniciado tardiamente e de forma desordenada, os entrevistados ressaltaram que a sinalização e iluminação das rotas de fuga geralmente são priorizadas nos corredores principais dos navios, o que aumenta o tempo de resposta e deslocamento dos evacuados nas rotas secundárias.

- O treinamento destinado aos tripulantes foi considerado ineficaz, o que ficou evidente com a leitura dos detectores de gás, a manipulação desastrosa de equipamentos em um ambiente com atmosfera explosiva e a dificuldade de manejo com as baleeiras. Alguns dos entrevistados para este estudo iniciaram a vida profissional na Marinha do Brasil, passando posteriormente a atuar em empresas da iniciativa privada. Todos concordaram com o fato de que não há treinamento similar ao dos militares na marinha mercante. A falta de repetição das ações, a constante recusa à utilização dos equipamentos de proteção, por serem considerados desconfortáveis, e a alteração de cenários de emergência, como desligamento dos alarmes para não importunar os que não participam dos treinamentos, foram algumas das deficiências apontadas para o consequente nervosismo dos tripulantes ao exercerem suas funções em uma emergência real. A frequência de execução de treinamentos aos quais os entrevistados foram submetidos variou entre simulações semanais, quinzenais, mensais e houve até mesmo quem tivesse participado de apenas um treinamento ao longo de um ano. Alguns treinamentos ocorrem majoritariamente em datas predeterminadas pelo comandante do navio eliminando o efeito surpresa sobre os participantes, e por acontecerem basicamente no mesmo horário, não fornecem informações adequadas sequer para realização da análise de evacuação simplificada proposta pela IMO, que deve conter dados provenientes de casos diurnos e noturnos.

- Outro problema relatado com frequência pelos entrevistados foi o da dificuldade de comunicação entre profissionais de diferentes países de origem. Ainda que o inglês seja a língua oficial a bordo, os sotaques característicos de cada região do planeta fragilizam os diálogos, criando uma barreira linguística. Ao descrever o acidente utilizado como estudo de caso para sua tese, BARBARINI (2012) relata essa

precariedade na comunicação, gerada pelas diferenças de pronúncias entre o chefe de máquinas sul coreano e os oficiais romeno e ucraniano durante a emergência.

Grande parte dos entrevistados responsáveis pelo setor de QHSSE (*Quality Health Safety Security Environment*) das empresas presumem que houve falha de planejamento, seja no reconhecimento dos riscos, no controle de prevenção de acidentes ou na habilidade para as ações de mitigação, relacionando-os às discordâncias em relação ao grau de investimento necessário à área de segurança. No Brasil, deve-se trabalhar com base nos treinamentos mandatórios do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) e do Ministério do Trabalho, pois, uma vez ocorrido um acidente em águas jurisdicionais brasileiras, seja ele ambiental ou envolvendo pessoas, a empresa será julgada pelo Tribunal Marítimo e pela justiça comum. Os planos de emergência devem ser aprovados e homologados pelas classificadoras, entretanto a dificuldade para colocá-los em prática deriva dos conflitos de interesses entre os diferentes agentes da indústria naval, uma vez que a interrupção da produção para essa finalidade gera enormes prejuízos financeiros.

6.2 Modelos Adotados

A princípio, a proteção empregada contra os riscos de incêndio a bordo de navios era baseada nas regras prescritivas fornecidas pelos órgãos regulamentadores. Essas regras geralmente eram formuladas a partir de acidentes marítimos de larga escala, expressando o caráter reativo desses órgãos em relação às questões pertinentes à segurança no mar – consoante ao Pêndulo da Segurança, visto no capítulo 4. No entanto, segundo VASSALOS *et al* (2010), o investimento em prevenção, em oposição à mitigação, a partir da introdução dos projetos baseados em desempenho, desencadeou a ampla demanda e uso de ferramentas de modelagem.

A facilidade de evacuação no mar é uma questão crucial do projeto de qualquer navio, e é um processo que deve ser planejado levando-se em consideração duas etapas distintas: o escape e o abandono. O escape refere-se ao distanciamento de um evento perigoso, ou seja, o deslocamento para um ambiente onde os efeitos desse evento sejam menores ou inexistentes. Enquanto que o abandono trata da saída de um cenário de acidente. Em algumas situações, apenas o escape de um ambiente comprometido para uma área segura de refúgio é suficiente para garantia de vidas. Em situações mais

críticas, como no caso de incêndios incontrolláveis ou inundações progressivas, além do escape há a necessidade de abandono do navio. Em ambas, o transcurso deve ocorrer de forma tranquila e em um período de tempo suficiente. Falhas no cálculo desse tempo podem levar a elevados índices de mortes, conforme visto na Tabela 1. Os ambientes compactos dos navios já são por si só um difícil obstáculo a ser transposto em uma situação de emergência, tornando o escape e/ou abandono essencialmente complexos, agravado em casos de incêndio pelo calor excessivo, concentração de gases tóxicos e visibilidade reduzida pela fumaça.

Evacuações reais em situações de perigo podem diferir imensamente dos treinamentos em larga escala comumente realizados em navios intactos. Aspectos que não são contemplados nos treinamentos de evacuação, devem ser incluídos nos cálculos para o tempo necessário para a evacuação. Em treinamentos, a mobilidade das pessoas não é afetada pela crescente inclinação dos navios em casos de inundação, quando a utilização de corrimãos passa a ser fundamental para a manutenção do equilíbrio, e as rotas de fuga não são obstruídas ao longo do evento. Similarmente, os efeitos do fogo, que também podem impor obstruções das rotas de fuga e prejuízos à mobilidade dos evacuados, não são computados nos treinamentos. A fim de considerar essas ocorrências, modelagem e simulação computacional são utilizadas em análises mais próximas da realidade. Recorrendo aos softwares é possível inserir uma série de dados que se modificam ao longo do tempo, simulando condições reais de uma situação de emergência.

6.2.1 Modelo de Evacuação

O modelo de evacuação EVI (Evacuation Analysis of IMO Ships) foi escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa à luz dos resultados obtidos nas teses de doutorado de PONTE JR (2012) e SICURO (2016). Ao contrário de modelos anteriores à sua criação, o EVI foi desenvolvido desde o início para aplicação em navios, visando os grandes navios de cruzeiros e os *Ro-Pax*. Tendo o software meios para atender ao alto grau de complexidade exigido para modelar esses tipos de navios, revelou-se aplicável a outros empreendimentos cujas características não requeiram esforços adicionais de implementação, tendo sido utilizado com sucesso em pesquisas voltadas para o gerenciamento de riscos em instalações *offshore* (PONTE JR, 2012) e em navios militares (SICURO, 2016). O EVI foi desenvolvido na Universidade de Strathclyde, em 2001, pelo SSRC (*Ship Stability Research Centre*) e atualmente é comercializado pela empresa

Brookes Bell Safety at Sea, ambas do Reino Unido, sendo considerada ainda hoje uma avançada ferramenta de simulação. O objetivo do SSRC era desenvolver uma estrutura para apoiar análises sistemáticas de risco de evacuação de passageiros no mar, visando a prevenção e redução deste através do aperfeiçoamento de meios passivos (design do navio) e ativos (procedimentos adotados). As simulações processadas no EVI promovem análises da eficiência de movimentação de pessoas, detectando pontos de congestionamento, a partir das quais é possível extrair informações para avaliação do layout da estrutura e sugestões para aspectos operacionais, regulação e treinamento da tripulação.

O processo decisório relacionado com a aceitação de riscos à vida humana requer melhoria contínua das ferramentas que o auxiliam para que propostas à otimização de empreendimentos, ainda que associadas ao aumento de custos, estejam de tal forma suportadas que serão consideradas imprescindíveis. A Brookes Bell garante a atualização da ferramenta participando ativamente de atividades de pesquisa e desenvolvimento onde obtém dados oriundos de experiências recentes, rapidamente incorporados ao software. Com esse objetivo, disponibilizou sua última versão para ser utilizada neste estudo.

O EVI atende todas as exigências em relação à análise avançada proposta pela IMO. Como visto, esse tipo de análise deve ser baseada em simulações computacionais onde o layout do navio precisa ser detalhadamente representado, cada ocupante tratado como um indivíduo e as interações entre ocupantes e layout devidamente interpretadas, assim como processado neste software. No modelo, existe ainda a viabilidade de representação do ambiente em cenários de acidente que aliada à distribuição de passageiros com características próprias, permite retratar a interação dos passageiros com o ambiente e entre eles mesmos em situações de emergência.

Para tratar o risco associado à evacuação de passageiros no mar foi criado o termo evacuabilidade, como sendo a capacidade de desempenho de evacuação de um ambiente do navio. A evacuabilidade representa uma medida de risco de evacuação no mar expressa como um índice para um determinado cenário pertinente, descrito pelo ambiente, distribuição de pessoas e dados demográficos, correlacionados ao tempo de resposta e velocidade de deslocamento dos evacuados. Por meio de sua aplicação é possível contemplar uma ampla gama de capacidades como o tempo de evacuação, identificação de potenciais gargalos, avaliação do layout, utilização de equipamentos de salvamento, familiarização dos embarcados com o ambiente, treinamento da tripulação,

estratégias e procedimentos de evacuação, garantindo o foco na segurança das pessoas a bordo de forma sistemática e abrangente.

A evacuabilidade para determinadas condições iniciais, dentro de um intervalo de tempo, foi definida como:

$$E = F[a, d, r(t), v(n_i); t]$$

O parâmetro a está relacionado ao ambiente no qual ocorrerá o processo de evacuação, englobando geometria, topologia e domínio semântico deste. A geometria refere-se à planta do navio, que no EVI é modelada como uma malha, onde os compartimentos são representados por regiões convexas em um editor independente, como será visto adiante. A topologia, sendo uma extensão da geometria, apresenta a forma como os compartimentos estão conectados, localizando portas e passagens. E o domínio semântico define as condições iniciais de cada compartimento, indicando se as portas estão abertas, fechadas ou bloqueadas, o número de agentes presentes no momento em que a evacuação é anunciada, dentre outras informações.

O parâmetro d refere-se aos dados demográficos no cenário de evacuação, incorporando a distribuição aleatória espacial e temporal das pessoas a bordo dentre uma faixa de valores fixada. O EVI admite diferentes configurações a partir da escolha do gênero e idade dos agentes que participarão de cada simulação, relacionado-os ao tempo de resposta e velocidade de deslocamento.

O parâmetro r(t) pretende refletir o tempo gasto em movimentos decorrentes de atividades desenvolvidas antes do início da evacuação, sendo contabilizado a partir do momento em que o alarme é disparado, denominado pela IMO como tempo de resposta (*awareness*). Como visto anteriormente, essa é uma variável extremamente dependente de tempos de conscientização e reação individuais das pessoas, que estão relacionados com a percepção e interpretação de sinais e instruções, e outras atividades inerentes ao processo.

O parâmetro v(n_i) relaciona-se com a dinâmica da evacuação, traduzida pela velocidade de deslocamento dos agentes. Cada indivíduo é tratado como uma unidade de fluxo cuja velocidade sofre influência procedural (plano de evacuação), funcional (assistência da tripulação) e comportamental (análise microscópica).

Os parâmetros envolvidos na função da evacuabilidade estão ilustrados na Figura 18.

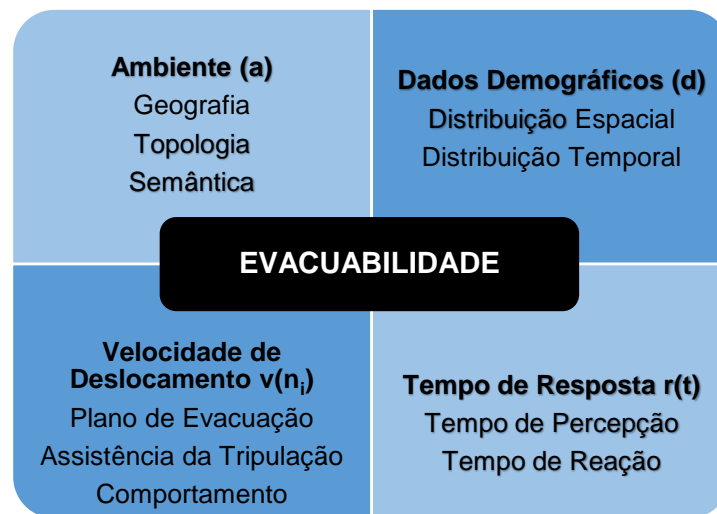


Figura 18 – Parâmetros de Evacuabilidade.
Fonte: Elaboração da autora, 2017

Um ponto forte do EVI deriva da capacidade de utilização das modelagens macroscópica e microscópica de forma intercambiável, contabilizando o comportamento humano de forma realista ao vincular objetividade e subjetividade em suas simulações, proporcionando apoio às decisões inerentes ao gerenciamento de riscos baseado em fatores humanos.

O objetivo principal para todas as pessoas consideradas em uma simulação - passageiros e tripulação - é a evacuação, durante a qual é possível fazer o acompanhamento do progresso em direção às estações de encontro (*muster stations*). Para atingir esses pontos, uma série de decisões são tomadas através das rotas nas quais devem transitar, onde fatores que impactam no cálculo do tempo de evacuação, como posição inicial dos evacuados, reação particular às situações de emergência, sinalização do navio, assistência de membros da tripulação e a complexa geografia e topologia do navio são incorporados à capacidade dos agentes. As rotas são modeladas em uma estrutura gráfica por meio da qual se pode observar o deslocamento dos evacuados em uma escala macroscópica, enquanto que no nível microscópico se observa a escolha dos agentes por determinados caminhos evitando colisões através de operações vetoriais contínuas. A escolha da direção do movimento dos agentes é viabilizada pela combinação entre a eficácia dos modelos de malhas (*grid-based*) e a flexibilidade dos modelos de forças sociais, como descrito no item 4.4.4. Essa combinação de técnicas constituindo o caráter híbrido do software foi descrita por

VASSALOS *et al.* (2001) como uma abordagem mesoscópica, adotada no EVI, onde decisões e movimentos dos agentes durante o percurso para as estações de encontro são acompanhados simultaneamente.

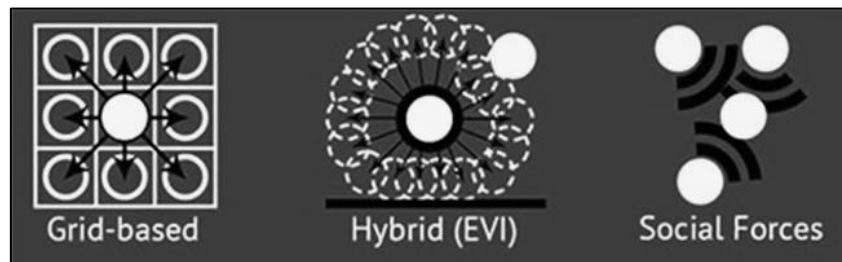


Figura 19 – Modelo Híbrido Mesosocópico.
Fonte: <http://www.brookesbell.com>

Um espaço local contínuo é estabelecido em torno de cada agente que outro agente procurará evitar. Este espaço é concebido para evitar situações de impasse quando a densidade em um ambiente torna-se muito alta, ou seja, quando o número de agentes em uma área ultrapassa determinado limite. Os agentes tomam a decisão de melhor uso do espaço pessoal para resolver quaisquer conflitos que possam surgir. Para simplificar os cálculos, uma variedade de decisões discretas são estabelecidas em torno de um agente com o objetivo de identificar o caminho que o conduzirá de forma mais rápida possível em direção ao alvo pretendido. Como resultado, essa abordagem permite que o processo de evacuação possa ser modelado em detalhes mesmo em navios com capacidade para milhares de pessoas.

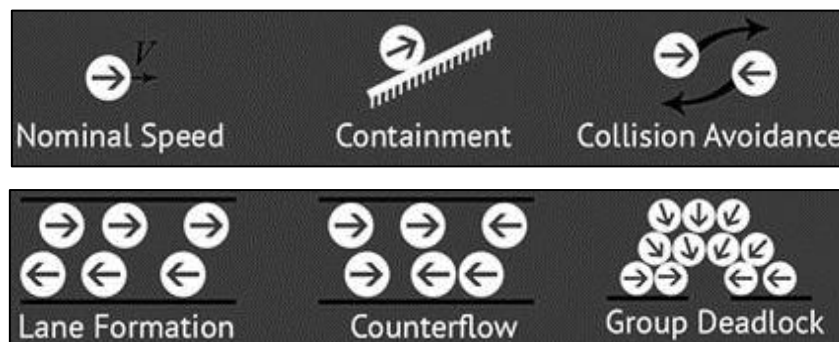


Figura 20 – Variáveis Consideradas pelo EVI.
Fonte: <http://www.brookesbell.com>

No EVI os agentes são considerados sistemas de transporte capazes de carregar informações, interagindo com outros agentes e viajando de forma autônoma ao redor do navio. Além do objetivo principal, objetivos intermediários podem ser atribuídos aos

agentes. Todos os tipos de agentes, passageiros ou tripulantes, podem ser enviados às cabines para apanharem os coletes salva-vidas ou serem direcionados a algum ambiente específico antes de seguir para as estações de encontro. Membros da tripulação podem adicionalmente serem direcionados para as cabines a fim de atribuir novas rotas de fuga para passageiros no caso de a rota principal estar obstruída. Ao programar agentes individuais para executar determinadas tarefas é possível reproduzir no EVI qualquer procedimento de evacuação ou cenário de saída, não necessariamente associado a uma emergência, incorporando as ações especificadas nos procedimentos de direcionamento aos pontos de reunião ou desembarque.

Para aplicação neste trabalho utilizar-se-á a integração entre as análises de evacuação derivadas do EVI com as de cenários de incêndio simulados em um modelo capaz de quantificar os efeitos do fogo e da fumaça.

6.2.2 Modelo de Incêndio

A análise de situações de incêndio requer amplo conhecimento de fenômenos químicos e físicos que ocorrem simultaneamente e a interação entre eles. As variáveis envolvidas nas reações de combustão, as estimativas a respeito da quantidade de energia térmica transferida por condução, convecção e radiação, a abrangência de inúmeros materiais distribuídos pelos ambientes cujas propriedades são alteradas durante o evento, o escoamento de gases, dentre tantos outros fatores fazem com que a reprodução física desses cenários seja extremamente penosa e cara. Assim como nas análises de evacuação, os modelos numéricos foram escolhidos pelos pesquisadores como uma alternativa segura e eficaz, ainda que muitas vezes requeiram alta performance computacional e muito tempo para as simulações. A multiplicidade de modelos existentes pode ser organizada segundo a sofisticação empregada para atingir a precisão requerida aos resultados. Neste estudo, foi utilizado o software de simulação dinâmica FDS (*Fire Dynamic Simulator*), desenvolvido pelo instituto americano NIST (*National Institute of Standards and Technology*), baseado em fluidodinâmica computacional (FDC). Os modelos que utilizam esse tipo de abordagem são os mais elaborados que existem atualmente, em que as características de um fluido em movimento são descritas através de equações diferenciais solucionadas por sofisticados algoritmos. À medida que a capacidade dos computadores cresce, a utilização desse recurso se torna mais viável e popular. A eficiência do FDS já foi atestada em estudos

de diferentes áreas onde a simulação do fluxo de calor e fumaça é requerida, auxiliando, por exemplo, perícias e análise de comportamento de estruturas.

No FDS é possível descrever a evolução do incêndio em uma estrutura tridimensional, com acompanhamento de uma série de parâmetros como temperatura, concentração de gases tóxicos e visibilidade. A utilização desse tipo de modelo permite a compreensão de como aspectos ambientais, estruturais e de materiais contribuem para a evolução do evento. A partir dos resultados das simulações é possível definir o melhor layout de compartimentações, sugerindo melhor posicionamento de escadas e saídas de emergência, assim como a especificação de materiais conforme sua resistência ao fogo. Para esta pesquisa, os dados de saída das simulações serão utilizados para a análise dos efeitos de um incêndio sobre os evacuados.

O calor e a fumaça são responsáveis por situações de extremo perigo durante evacuações, uma vez que podem prejudicar a visibilidade, bloquear rotas de fuga e até mesmo incapacitar totalmente os envolvidos no processo. Seus efeitos sobre a segurança da vida humana podem ser divididos em três grupos. No primeiro grupo, estão incluídas a intoxicação por inalação de asfixiantes e produtos tóxicos e a irritação respiratória e pulmonar. Monóxido de carbono, dióxido de carbono e depleção de oxigênio são responsáveis por esses impactos. Em um segundo grupo, considera-se a exposição ao calor excessivo devido à convecção e radiação, causando diversos danos ao organismo dos indivíduos. E em um terceiro grupo, é inserida a redução da velocidade de deslocamento à medida que a concentração de fumaça aumenta. Na Figura 21, estão representados 3 momentos de uma simulação realizada nesta pesquisa utilizando o FDS, onde a fumaça representada pela cor cinza, reduz drasticamente a visibilidade em um pequeno intervalo de tempo. Na primeira ilustração, encontra-se o cenário configurado após 60 segundos do incêndio ter sido deflagrado, na segunda ilustração, apresenta-se o cenário após 300 segundos e na terceira, o cenário após 900 segundos, onde é possível observar a progressão e concentração de fumaça em um período de apenas 14 minutos.

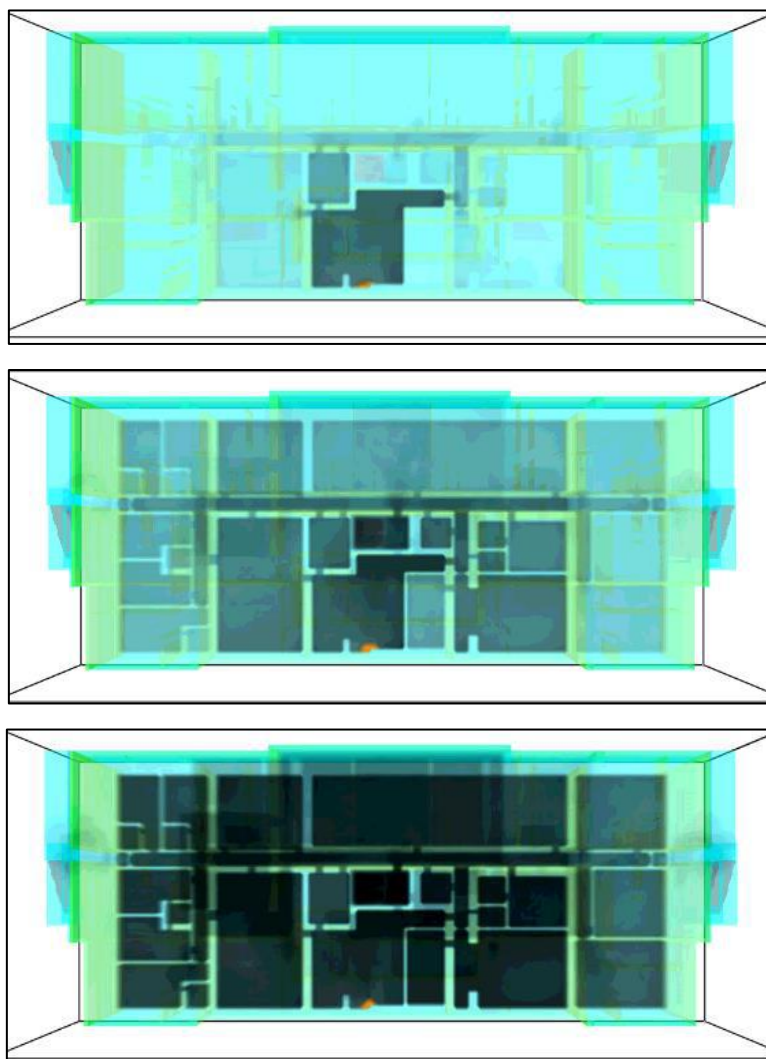


Figura 21 – Concentração de Fumaça em 60s, 300s e 900s de Simulação.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

A fumaça é uma massa gasosa com produtos em suspensão oriundos da queima de combustível, sendo a fuligem a principal responsável pela redução de visibilidade. Além disso, alguns subprodutos da combustão existentes na fumaça podem reagir com o oxigênio no decorrer do incêndio e queimar, conferindo a esta um caráter inflamável. Ou seja, sendo um fluido de temperatura elevada que percorre com facilidade diferentes ambientes, além de transportar rapidamente parte da energia liberada pelo fogo propagando o incêndio, é capaz de gerar novos focos. Um dos fatores mais relevantes associado à fumaça pelo potencial de dano causado e prejuízos ao processo de evacuação é a toxicidade, tratada no FDS através do cálculo de um índice denominado FED (*Fractional Effective Dose*). O índice FED é uma medida do ar contaminante absorvido por uma pessoa em situação de incêndio, ou seja, a quantidade de gases

tóxicos acumulados no organismo durante seu movimento através dos ambientes. A adoção deste parâmetro facilita a mensuração das consequências geradas a partir da inalação de diferentes gases tóxicos simultaneamente. O índice FED apresenta 4 categorias relacionadas aos estados de saúde decorrentes da aspiração desses gases, como apresentado na Tabela 4, que serão amplamente utilizadas nas análises desenvolvidas nesta pesquisa.

Tabela 4 - Categorias de FED para Níveis de Lesão.

FED	EXTENSÃO DA LESÃO
$0 \leq \text{FED} < 0.3$	Insignificante
$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$	Ferimento Leve
$0.7 \leq \text{FED} < 1.0$	Ferimento Grave
$\text{FED} \geq 1.0$	Morte

Fonte: Elaboração da Autora, 2016

6.3 Descrição do Navio em Estudo

Grande parte dos navios da marinha mercante em operação no mundo é composta pelos navios de transporte de cargas. Segundo publicação da Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD) em 2014, petroleiros, graneleiros, porta-contêineres e navios de carga geral já compunham mais de 88% da frota mundial da marinha mercante, em TPB (Tonelagem de Porte Bruto). A contribuição de cada um desses tipos de navios está apresentada no gráfico da Figura 22.

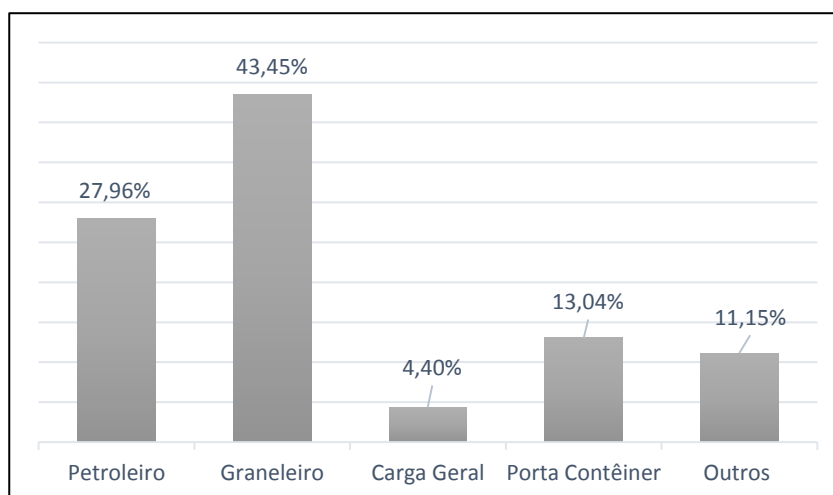


Figura 22 – Participação de Navios de Carga na Frota Mundial.

Fonte: Adaptado da UNCTAD, 2014

Segundo a EMSA (*European Maritime Safety Agency*), foram reportados 9180 acidentes marítimos entre os anos de 2011 e 2014. Em SILVA (2016), verifica-se que os navios de carga apresentaram o maior índice de ocorrência, sendo responsáveis por 44% de todos os acidentes registrados neste período. Os navios de passageiros contribuíram com 23% dos acidentes, os navios de serviços foram responsáveis por 15%, os navios pesqueiros contabilizaram 13% e outros tipos de navios com 5%, conforme apresentado na Figura 23.

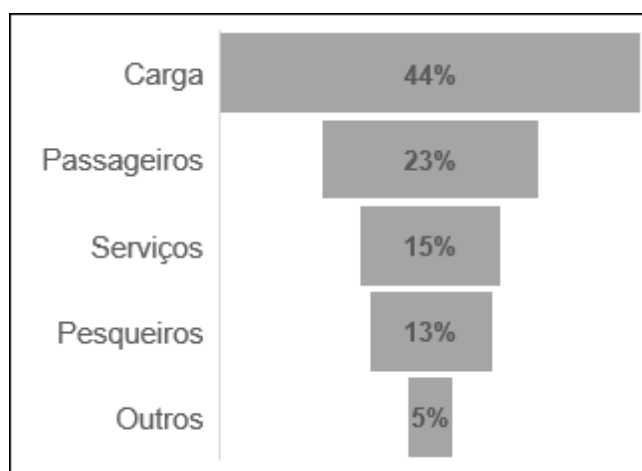


Figura 23 – Porcentagem de Acidentes com Navios entre 2011 e 2014.

Fonte: Adaptado de Silva, 2016.

Mesmo em face destes dados, ainda hoje não existem normas que contemplem o estudo de evacuação para navios de carga. O que se pretende demonstrar a partir do estudo de caso desta pesquisa é que especialistas em segurança naval e autoridades marítimas possuem ferramentas disponíveis para auxiliá-los na concepção de normas específicas para este tipo de embarcação, cujas características dos navios, da população e de operação suscitam tempos e métodos próprios para uma evacuação eficaz. Os modelos computacionais propostos para serem utilizados com este fim, vêm sendo empregados com sucesso em estudos direcionados a outros empreendimentos navais, não havendo necessidade de postergar ainda mais uma medida de segurança capaz de salvar a vida de milhares de trabalhadores embarcados ao redor do mundo.

Verifica-se ainda que apesar de todos os esforços direcionados ao aumento da produção de energias alternativas aos combustíveis fósseis, a matriz energética mundial

ainda é composta majoritariamente pelo petróleo e seus derivados. A Figura 24, apresenta a perspectiva de crescimento da demanda mundial de energia primária. Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), os hidrocarbonetos contribuem com mais da metade de todo consumo energético global e poucas mudanças serão experimentadas nesse cenário até o ano de 2040, sem que o petróleo perca sua posição de destaque. Cerca de 2/3 de todo o petróleo produzido e comercializado no mundo é transportado pelos navios petroleiros. É possível deduzir a partir desta previsão que ainda existirão muitos navios petroleiros navegando pelo planeta, pelo menos pelas próximas duas décadas.

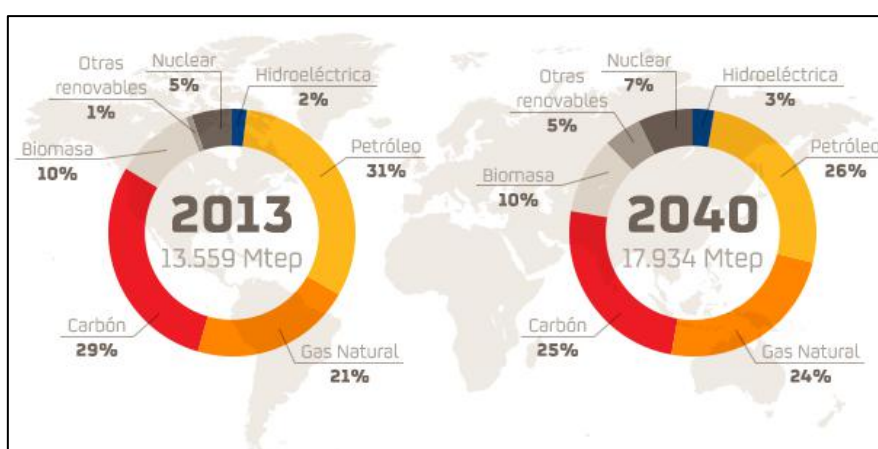


Figura 24 – Demanda Mundial de Energia Primária.
Fonte: Agência Internacional de Energia, 2013

Dessa forma, para a investigação a qual esta pesquisa se destina foi escolhido um navio petroleiro do tipo VLCC (*Very Large Crude Oil Carrier*), construído pela Hyundai Heavy Industries Ulsan, em 1993 e afretado pela Petrobras em 2013.



Figura 25 – Navio Petroleiro em Estudo (392m x 59m).

A superestrutura de um navio petroleiro é projetada para atender as demandas da tripulação, sendo dimensionada a partir do número de tripulantes necessários ao funcionamento da embarcação. A tecnologia cuida de grande parte do trabalho desses gigantes dos mares e sua tripulação passa todo o percurso na superestrutura, sobrando assim um grande espaço para a carga. É na superestrutura que funciona a cabine de comando e onde se localizam áreas como camarotes e restaurante. O navio em estudo é composto por 5 decks, designados por A, B, C, D e E, sendo este último o helideck. As cabines dos tripulantes estão distribuídas nos 4 primeiros decks, conforme pode ser verificado na Figura 26. No deck A, encontram-se 2 cabines individuais (com capacidade para 1 pessoa por cabine) e 3 cabines duplas (com capacidade para 2 pessoas por cabine), capazes de acomodar um total de 8 tripulantes. No deck B, 30 tripulantes podem ser acomodados em 20 cabines individuais e 5 cabines duplas. No deck C, 15 cabines individuais e 2 cabines duplas abrigam até 19 tripulantes. No deck D, são disponibilizadas 9 cabines individuais e 2 cabines duplas, acomodando no máximo 13 tripulantes. O número mínimo de tripulantes por viagem é calculado de acordo com as atividades que serão desenvolvidas no navio neste período. Para esta pesquisa, considera-se que o navio esteja operando com a capacidade máxima de tripulantes, determinando dessa forma que a carga de pessoas (nomenclatura IMO) será igual a 70.



Figura 26 – Distribuição das Cabines na Superestrutura.
Fonte: Elaboração da Autora, 2015

6.4 Construção dos Modelos

Para realização das simulações de incêndio e evacuação, foi necessário construir dois modelos tridimensionais da superestrutura do navio, um para o FDS e outro para o EVI. A planta baixa do navio foi disponibilizada para esta pesquisa no formato PDF (*Portable Document Format*) sem as medidas indicativas das dimensões dos ambientes. Tendo sido criada originalmente em uma estrutura de CAD (*Computer Aided Design*) foi possível importá-la através do software AutoCAD, onde a ferramenta *scale* foi aplicada por todo o desenho para obtenção das cotas. Considerando que o metro é a unidade de medida padrão adotada pelos dois softwares de simulação, ao se utilizar a escala natural no AutoCAD (1:1) e assumir que cada unidade correspondia a um metro, todas as cotas foram estabelecidas de forma a serem prontamente transpostas para o FDS e para o EVI.

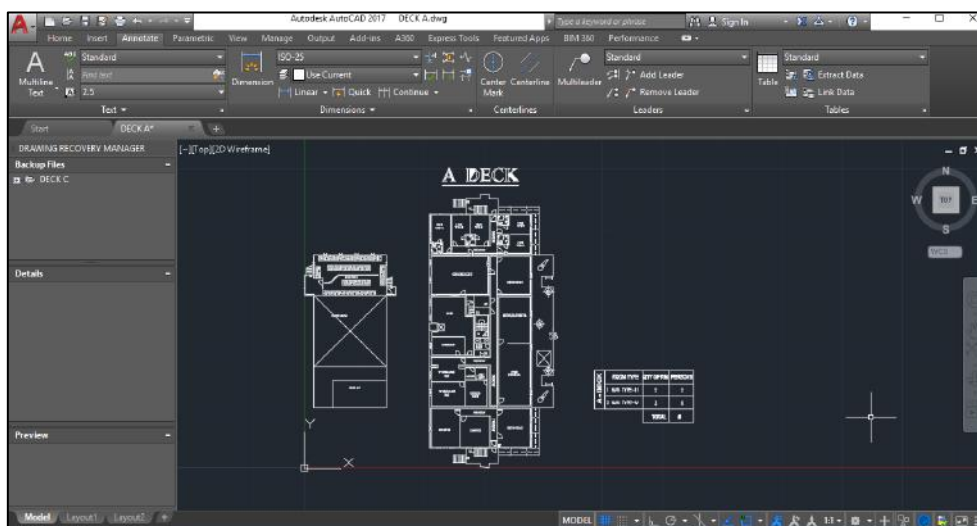


Figura 27 – Desenho do Deck A no AutoCAD.
Fonte: Elaboração da Autora, 2016

O EVI possui um editor gráfico denominado EVE que não aceita a importação de arquivos sem gerar inconsistências para o modelo e por essa razão os desenhos tiveram que ser confeccionados no seu ambiente. Após o delineamento de todos os decks no EVE, a planta da superestrutura do navio é salva como um documento de banco de dados (extensão XML - *eXtensible Markup Language*), para que possa ser exportada para o EVI onde as simulações de fato são geradas. Na Figura 28, pode-se observar o desenho do Deck B em duas dimensões ainda no EVE, e na Figura 29 o modelo completo em três dimensões exportado para o EVI.

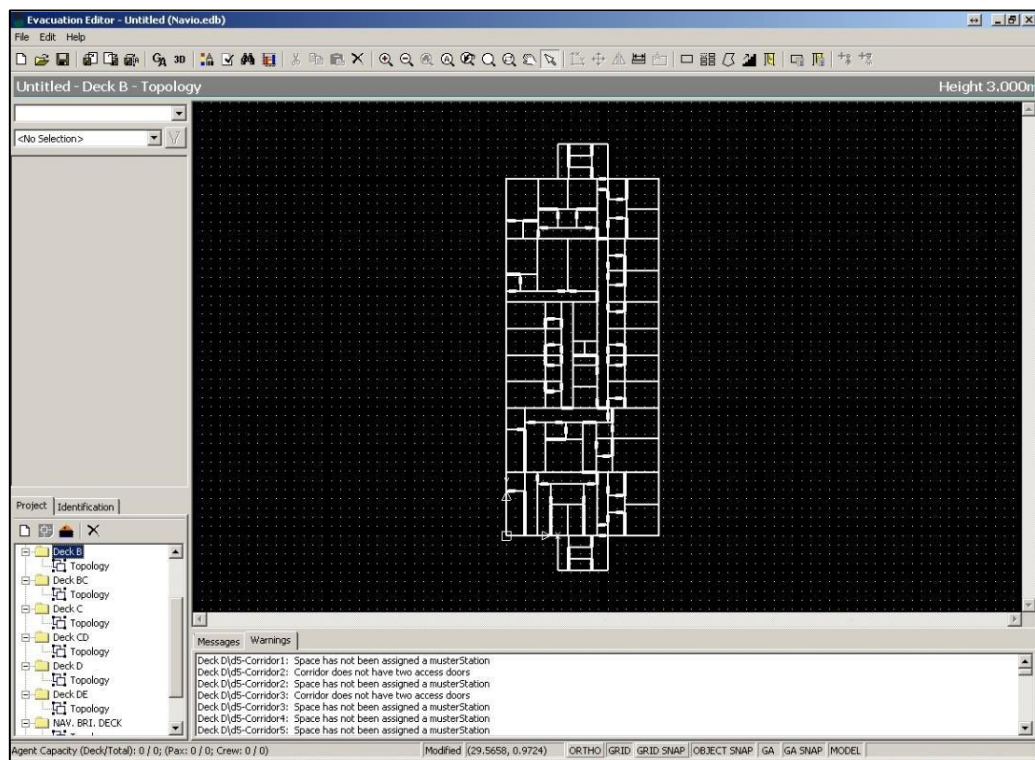


Figura 28 – Desenho do Deck B no EVE.
Fonte: Elaboração da Autora, 2016

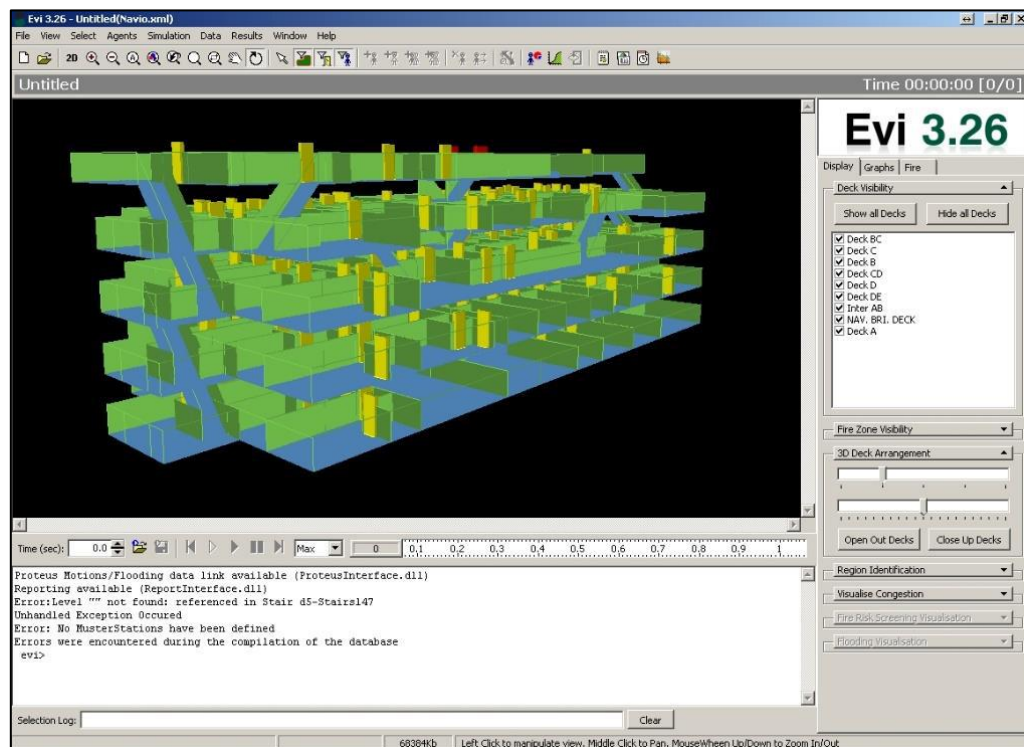


Figura 29 – Modelo 3D Exportado para o Evi.
Fonte: Elaboração da autora, 2016

A concepção do modelo tridimensional para o FDS foi mais complexa que a do EVI visto que toda a estrutura é tratada em linhas de comandos de um arquivo de texto próprio do software. Isso quer dizer que cada entidade, como cabines, escadas, pisos, tetos, portas e passagens, deve ser definida através de coordenadas e atributos físicos. Para melhor compreensão do leitor um trecho do arquivo do FDS está exposto na Figura 30, onde estão estabelecidas a localização de algumas das portas existentes na superestrutura navio.

```
&HOLE ID='PORTA'  
  XB=5.975,6.197,24.348,25.099,0.100,2.000  
  /  
&HOLE ID='PORTA'  
  XB=4.362,5.113,15.185,15.560,0.100,2.000  
  /  
&HOLE ID='PORTA'  
  XB=5.983,6.035,14.178,14.929,0.100,2.000  
  /  
&HOLE ID='PORTA'  
  XB=8.416,9.116,15.185,15.304,0.100,2.000  
  /  
&HOLE ID='PORTA'  
  XB=9.952,10.106,16.696,17.395,0.100,2.000  
  /  
&HOLE ID='PORTA'  
  XB=10.345,11.113,0.000,0.196,0.100,2.000  
  /  
&HOLE ID='PORTA'  
  XB=10.345,11.113,1.204,1.246,0.100,2.000  
  /  
&HOLE ID='PORTA'  
  XB=9.824,10.106,29.115,29.874,0.100,2.000  
  /  
&HOLE ID='PORTA'  
  XB=6.453,7.213,32.068,32.512,0.100,2.000  
  /  
&HOLE ID='PORTA'  
  XB=11.284,11.335,31.095,31.795,0.100,2.000
```

Figura 30 – Localização de Entidades no FDS.
Fonte: Elaboração da Autora, 2016

Após toda a estrutura ser declarada, deve ser complementada com informações necessárias às simulações, como o material de cada entidade e o ponto onde o incêndio será deflagrado. Na Figura 31, é apresentado um outro trecho do arquivo gerado no FDS, onde é possível observar especificações de cor (em “RGB”), material (em “MATL_D”), transparência e espessura para três entidades: parede, piso e escada.

```
&SURF ID      = 'PAREDE'
  RGB          = 60,250,60
  MATL_ID      = 'STEEL SHEET'
  TRANSPARENCY = 0.5
  THICKNESS    = 0.2 /

&SURF ID      = 'PISO'
  RGB          = 10,190,250
  TRANSPARENCY = 0.5
  MATL_ID      = 'STEEL SHEET'
  THICKNESS    = 0.2 /

&SURF ID      = 'ESCADA'
  RGB          = 255,0,0
  TRANSPARENCY = 0.5
  MATL_ID      = 'STEEL SHEET'
  THICKNESS    = 0.2 /
```

Figura 31 – Atributos de Entidades no FDS.
Fonte: Elaboração da Autora, 2016

A expansão de fumaça observada no item 6.2.2, assim como o acompanhamento dos demais parâmetros ao longo das simulações, são facilmente visualizados em imagens e animações tridimensionais produzidas pelo aplicativo SMOKEVIEW, contido no pacote de instalação do FDS, que extrai as informações necessárias do arquivo texto informado pelo usuário.

6.5 Simulações de Evacuação

Para dar início a uma simulação no EVI, basta distribuir os agentes pela estrutura, a partir das indicações prévias estabelecidas no EVE, e estabelecer as características de cada um deles.

No item 5.3, foram apresentadas as recomendações da IMO para os dados demográficos e a distribuição inicial da carga de pessoas para navios de passageiros. A partir do exposto na norma, foram realizadas adaptações para que a descrição da

população estivesse mais próxima da realidade de um navio petroleiro. A primeira faixa etária, com indicação da IMO para inclusão de pessoas entre 0 e 30 anos, que prevê a existência de crianças em navios de passageiros, foi substituída pela faixa compreendida entre 20 e 30 anos. A segunda faixa etária foi replicada conforme sugerido na norma, abrangendo idades entre 30 e 50 anos. E a terceira faixa etária, na qual a IMO considera a crescente população de idosos nos navios de cruzeiros, foi suprimida neste estudo. A proporção entre homens e mulheres, assim como o percentual para cada faixa etária proposto na MSC.1/Circ.1238, também sofreram alterações. Profissionais atuantes em navios petroleiros consultados para esta pesquisa, sugeriram que o percentual de embarcados do gênero feminino neste tipo de navio é aproximadamente igual a 5% do total de tripulantes. Da mesma maneira, foi indicado que o percentual de 40% atribuído a pessoas com locomoção reduzida proveniente de alguma deficiência, conforme sugerido na norma, não retrata fidedignamente o cotidiano de um navio de carga. Neste estudo, admitiu-se que tripulantes com dificuldades de locomoção decorrentes do acidente estão incluídos na faixa etária de 30 a 50 anos onde já é atribuída uma velocidade de deslocamento menor. Na Tabela 5, estão expostas as faixas adotadas para as simulações, onde é introduzida a distinção entre dois tipos de tripulantes, que será justificada mais adiante neste capítulo.

Tabela 5 – Distribuição da Carga de Pessoas.

TRIPULANTES I		TRIPULANTES II
5% Mulheres	20 a 30 anos	100% Homens de 20 a 30 anos
60 % Homens	20 a 30 anos	
35% Homens	30 a 50 anos	

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Para as análises referentes aos cenários noturnos sugeridos na norma, a distribuição inicial da população seguiu os limites impostos pela capacidade de cada cabine, onde os agentes estariam dormindo. As variações experimentadas derivaram dos objetivos atribuídos aos agentes e do domínio semântico nos diferentes casos propostos, conforme será visto adiante. Para os cenários diurnos, foram adotadas distribuições espaciais adaptadas a partir das indicações contidas na norma e serão apresentadas no capítulo 7. Na Figura 32, encontra-se o instante inicial de uma

simulação com a respectiva distribuição dos agentes pelos compartimentos do navio em um cenário noturno.

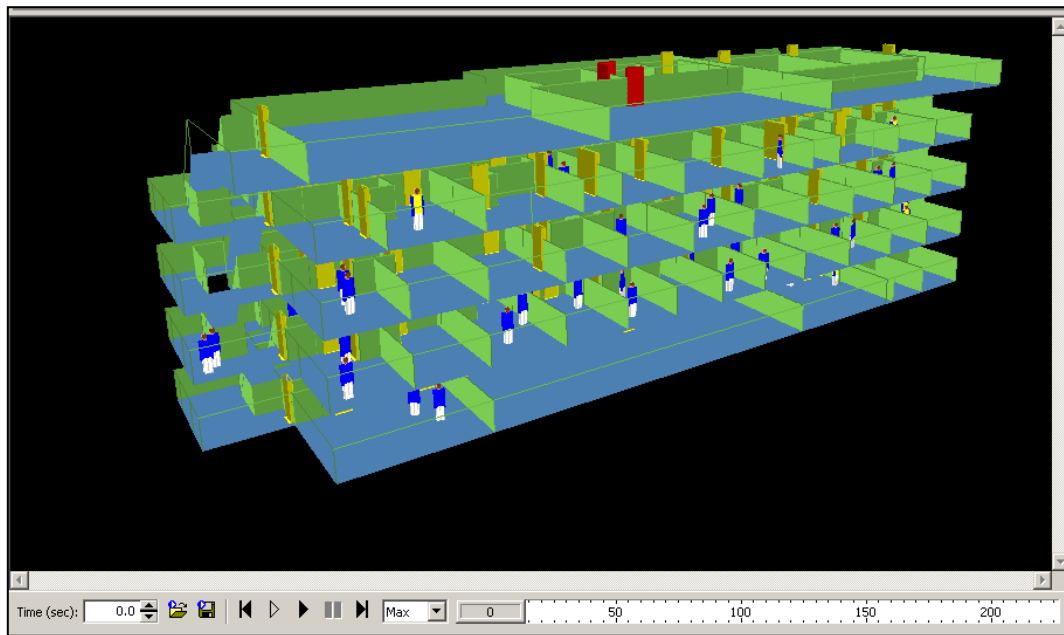


Figura 32 – Distribuição Inicial da Carga de Pessoas no EVI.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Por intermédio da função *demographics*, é possível atribuir as características desejadas para todos os agentes. Na Figura 33, encontra-se um exemplo da tabela disponibilizada pelo EVI onde são dispostas 5 colunas a serem preenchidas de acordo com os perfis requeridos. Na primeira coluna, faz-se a escolha do percentual de agentes com características comuns a serem impostas nas 4 colunas subsequentes. Na segunda coluna, pode-se escolher o gênero dos ocupantes, que podem ser exclusivamente do sexo feminino, exclusivamente do sexo masculino ou ainda serem distribuídos de forma randômica. Na terceira coluna, pode-se optar por um valor fixo para a idade dos agentes, ou determinar que haverá uma distribuição uniforme ou normal. Na quarta coluna, faz-se a seleção do tempo de resposta a ser considerado, podendo este ser fixo ou obedecer às distribuições uniforme, normal ou logarítmica-normal. Na quinta e última coluna, determina-se a velocidade de deslocamento dos agentes, que pode ser um valor fixo ou obedecer às distribuições uniforme ou normal, conforme a MSC1033. No exemplo aqui ilustrado, todas as características foram imputadas de uma só vez para as 10 faixas distribuídas pelas linhas da tabela. Ao se selecionar um dos dois botões em destaque na figura, MSC1238 (Day) ou MSC1238 (Night), o software insere todos os valores determinados pela norma para um dos dois cenários, dia ou noite, determinando o

percentual de cada grupo de agentes, e correlacionando-os com o tempo de resposta e a velocidade de deslocamento.

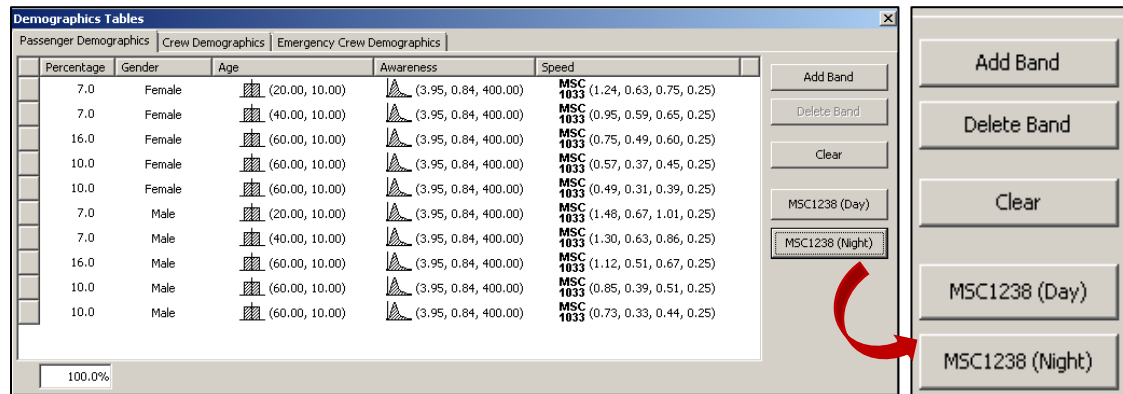


Figura 33 – Dados Demográficos Utilizando MSC1238 (Night).

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Caso a função *demographics* não seja ativada, o software assume que todos os agentes iniciam o processo de evacuação instantaneamente, ou seja, o tempo de conscientização é igual a zero, e que possuem velocidade constante igual a 1m/s. Essa configuração *default* é útil para verificar de maneira rápida se o modelo foi criado corretamente no EVE e se os agentes caminham para onde se espera (estações de encontro) utilizando as melhores rotas. O acompanhamento das trajetórias selecionadas pelos agentes, que aparecem em vermelho nas imagens da Figura 34, delineadas tanto no desenho bidimensional, como na versão tridimensional da estrutura, facilita a inspeção do modelo. Esse tipo de simulação fornece indicações de áreas potencialmente problemáticas em relação a congestionamentos, mas por serem muito precárias, não devem ser consideradas.

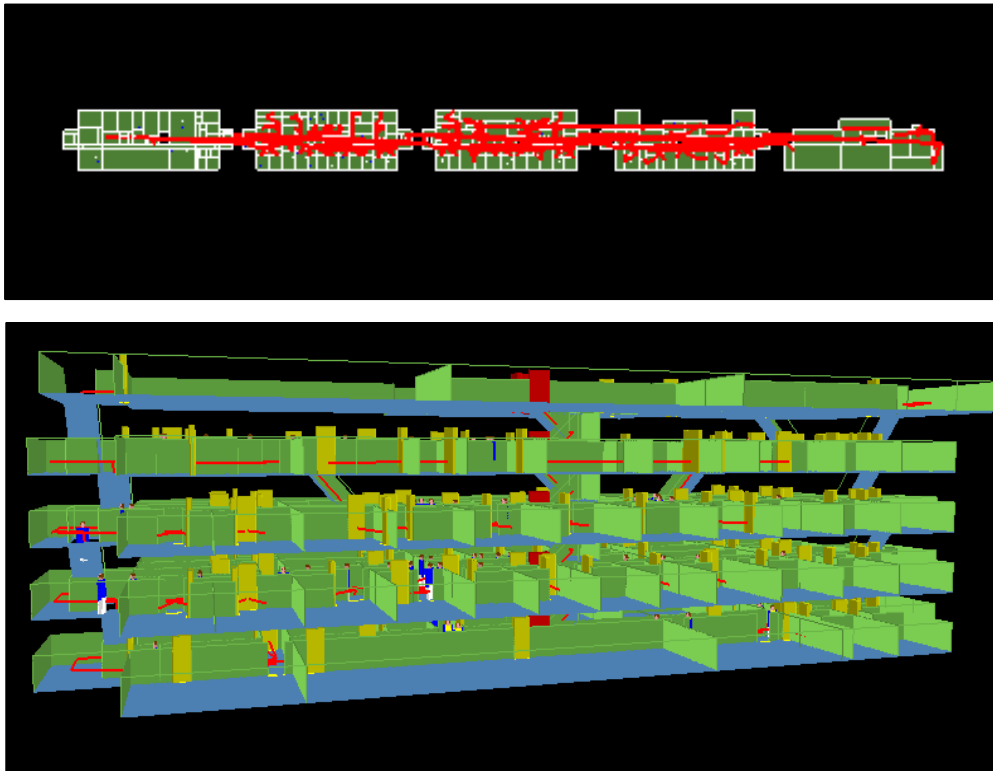



Figura 34 – Rotas dos Agentes em uma Simulação.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Antes do modelo do navio ser exportado para o EVI, é necessário determinar no EVE o ponto de encontro (*muster station*) para o qual os agentes devem seguir. A partir dessa indicação, são atribuídas trajetórias para todos os agentes por onde estes irão perseguir alvos estáticos, como portas e passagens, com o objetivo final de chegar a *muster station*. Durante as simulações, os agentes se deslocam pela estrutura escolhendo as melhores rotas para que o destino seja alcançado no menor tempo possível. Entretanto, conforme citado no item 6.2.1, a cada agente pode ser atribuído um outro objetivo intermediário, de forma que nem todos sejam obrigados a caminhar imediatamente em direção ao ponto de encontro predeterminado no EVE. Na Figura 35, pode-se verificar a diferença entre os objetivos atribuídos a alguns dos agentes da simulação então realizada. Enquanto a maioria caminha com o único propósito de atingir o ponto de encontro (descrito no EVE como *d0-Public4*), um dos agentes (*Crew 9*) precisa passar por outros ambientes antes de seguir para o ponto final (*d3-Public49*, *d0-Public13* e *d1-Public122*).



#	Objectives
Objective Crew1	(goto d0-Public4)
Objective Crew2	(goto d0-Public4)
Objective Crew3	(goto d0-Public4)
Objective Crew4	(goto d0-Public4)
Objective Crew5	(goto d0-Public4)
Objective Crew6	(goto d0-Public4)
Objective Crew7	(goto d0-Public4)
Objective Crew8	(goto d0-Public4)
Objective Crew9	(goto d0-Public4)
Objective Crew9	(goto d3-Public49)
Objective Crew9	(goto d0-Public13)
Objective Crew9	(goto d1-Public122)
Objective Crew9	(goto d0-Public4)
Objective Crew10	(goto d0-Public4)
Objective Crew11	(goto d0-Public4)
Objective Crew12	(goto d0-Public4)
Objective Crew13	(goto d0-Public4)
Objective Crew14	(goto d0-Public4)
Objective Crew15	(goto d0-Public4)
Objective Crew16	(goto d0-Public4)
Objective Crew17	(goto d0-Public4)
Objective Crew18	(goto d0-Public4)

Figura 35 – Diferença entre os Objetivos dos Agentes.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Dessa forma, é possível determinar que alguns agentes possuam finalidade exclusiva de chegar ao ponto de encontro e que outros possuam propósitos intermediários a este, como o de minimizar os efeitos do incêndio ou passar em algum ambiente para procurar alguém. Essa é a diferença entre os ‘tripulantes I’ e os ‘tripulantes II’ introduzidos na Tabela 5. Conforme exposto na referida tabela, ficou determinado que todos os tripulantes com objetivos intermediários, tripulantes II, seriam exclusivamente do sexo masculino, com idades variando entre 20 e 30 anos.

O EVI representa os tripulantes por agentes coloridos com as cores azul e amarela, enquanto os passageiros são representados apenas com uma cor, azul ou verde, variando de acordo com o gênero, azul para homens e verde para mulheres. Como o navio escolhido para este estudo de caso não possui passageiros, os agentes coloridos de azul e amarelo são considerados como membros da tripulação com objetivos intermediários em uma situação de incêndio (tripulantes II), como brigadistas e pessoas responsáveis pela área onde o fogo é detectado, e os agentes azuis/verdes ilustram os demais membros da tripulação (tripulantes I). Na Figura 36, é possível verificar a diferença visual entre tripulantes e passageiros no EVI.

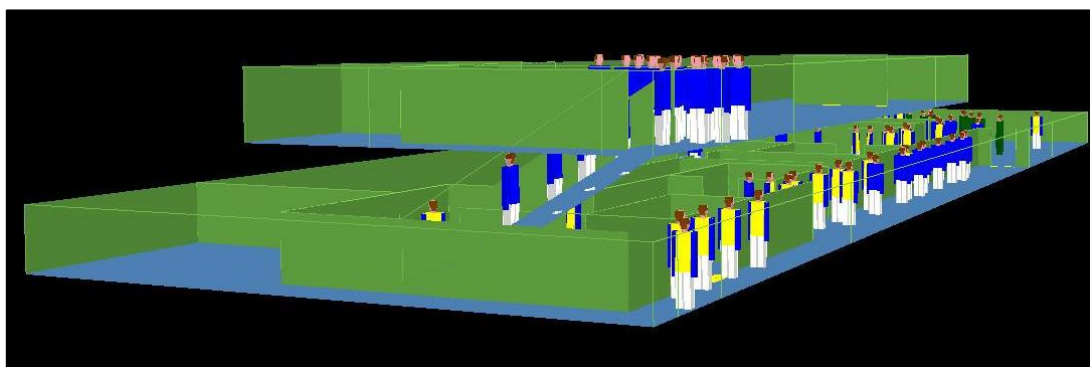


Figura 36 –Tipos de Agentes no EVI.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Para ilustrar os diferentes objetivos atribuídos aos agentes, na Figura 37, pode-se observar que um pequeno grupo está caminhando em direção à cozinha na parte mais baixa da estrutura (deck A), enquanto que a maioria dos agentes se desloca para a parte mais alta do navio, onde está o ponto de encontro (helideck).

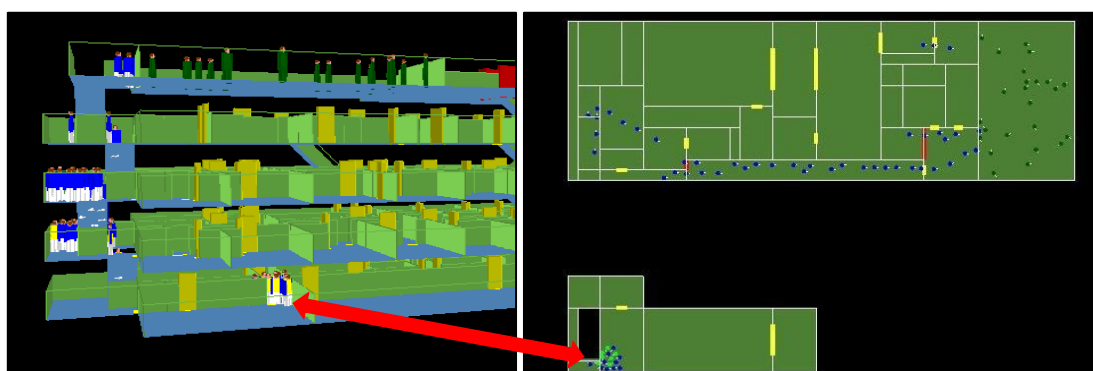


Figura 37 – Agentes com Diferentes Objetivos.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Dessa forma, os dados demográficos utilizados para as simulações deste trabalho precisaram ser inseridos em duas tabelas distintas. No primeiro quadro da Figura 37, observa-se os dados demográficos referentes aos tripulantes com objetivo único (tripulantes I), de acordo com as adaptações cogitadas na Tabela 5, e no segundo quadro, encontra-se a faixa exclusiva adotada para os tripulantes com objetivos intermediários (tripulantes II). As faixas etárias foram selecionadas segundo a distribuição uniforme de idades entre os agentes, o tempo de resposta seguindo a distribuição logarítmica normal e as velocidades (no plano, na subida e descida de escadas respectivamente) obedecendo estritamente as indicações da MSC1033. O exemplo ilustrado na Figura 38, apresenta dados referentes a uma das simulações

noturnas efetuadas, cuja diferença para as simulações diurnas concentra-se no tempo de resposta a ser utilizado (3.44, 0.94, 300 para cenários de dia).

Passenger Demographics						
Percentage	Gender	Age	Awareness	Speed		
5.0	Female	(25.00, 5.00)	(3.95, 0.84, 400.00)	(1.24, 0.63, 0.75)		
60.0	Male	(25.00, 5.00)	(3.95, 0.84, 400.00)	(1.48, 0.67, 1.01)		
35.0	Male	(40.00, 10.00)	(3.95, 0.84, 400.00)	(1.30, 0.63, 0.86)		

Passenger Demographics						
Percentage	Gender	Age	Awareness	Speed		
100.0	Male	(25.00, 5.00)	(3.95, 0.84, 400.00)	MSC 1033 (1.48, 0.67, 1.01, 0.00)		

Figura 38 – Dados Demográficos para os dois Tipos de Tripulantes.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

A distribuição dos 2 diferentes tipos de agentes pelos decks foi realizada segundo a Tabela 6, onde a sigla TI refere-se aos ‘tripulantes I’ com objetivo único (de atingir o helideck) e a sigla TII aos ‘tripulantes II’ com objetivos intermediários.

Tabela 6 – Distribuição dos Agentes por Deck.

DECK	TI	TII
A	6	2
B	25	5
C	15	4
D	10	3
	56	14

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Ao final de cada simulação no EVI, quando o último agente atinge o ponto de encontro, é possível analisar isoladamente o tempo necessário para que os diferentes objetivos sejam atingidos. Gráficos como o da Figura 39 apresentam curvas de objetivos alcançados ao longo do tempo para passageiros (tripulantes I), tripulação (tripulantes II) e para toda a população. Esse recurso foi utilizado para determinação do tempo que os agentes destinados a avaliar e/ou minimizar os efeitos do fogo levariam para chegar ao local do incêndio, conforme será descrito no item 6.7.

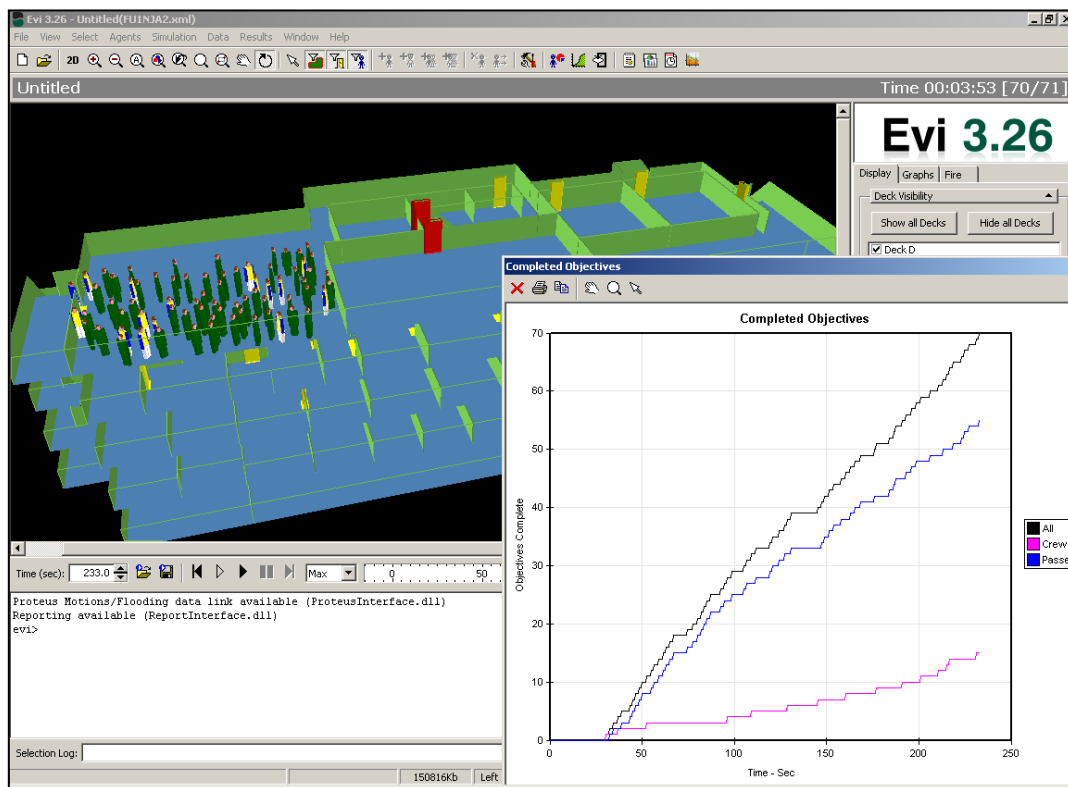


Figura 39 – Curvas de Objetivos Alcançados x Tempo.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

É possível fazer o acompanhamento de uma série de parâmetros durante cada simulação. No canto direito da Figura 40, encontram-se representados 3 gráficos cujas informações são atualizadas ao longo das simulações, podendo-se verificar o número de agentes congestionados, a taxa de vazão e a densidade de agentes pelos ambientes a cada instante. Encontra-se em destaque o gráfico que representa o número de agentes presentes nos ambientes a cada instante. O corredor denominado *d3-Corridor9* está representado pela cor vermelha e contém 2 agentes no instante registrado, enquanto a escada *d5-Stairs150* representada pela cor amarela contém apenas 1 agente, e assim sucessivamente. Dessa maneira, a avaliação dos efeitos do incêndio sobre os evacuados a partir dos dados de saída das simulações efetuadas no FDS pode ser realizada para cada segundo de simulação no EVI, em qualquer ambiente do navio.

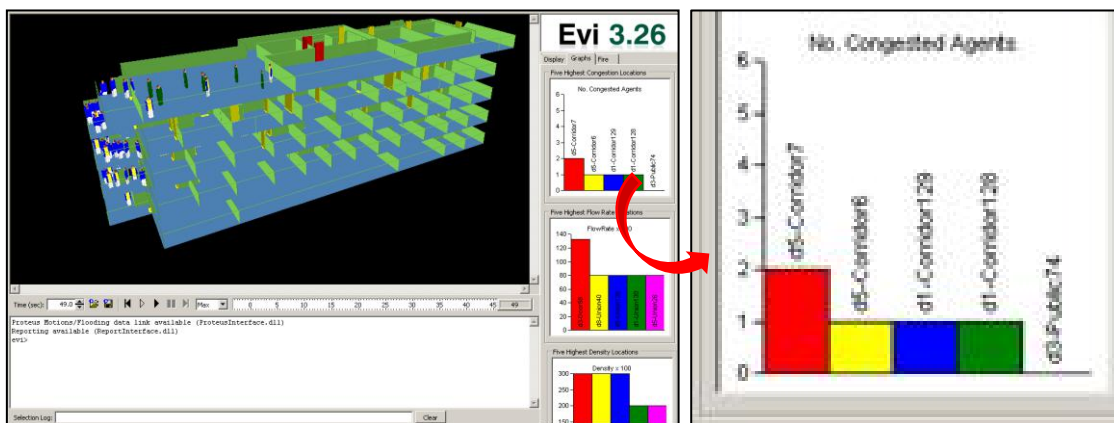


Figura 40 – Gráficos do Número, Fluxo e Densidade de Agentes.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

As simulações podem ser interrompidas a qualquer instante, facilitando a correspondência entre os resultados fornecidos pelos gráficos e a representação na estrutura. Os decks podem ser deslocados da posição original, tanto longitudinalmente como transversalmente, em duas ou três dimensões, proporcionando inspeção minuciosa do modelo.

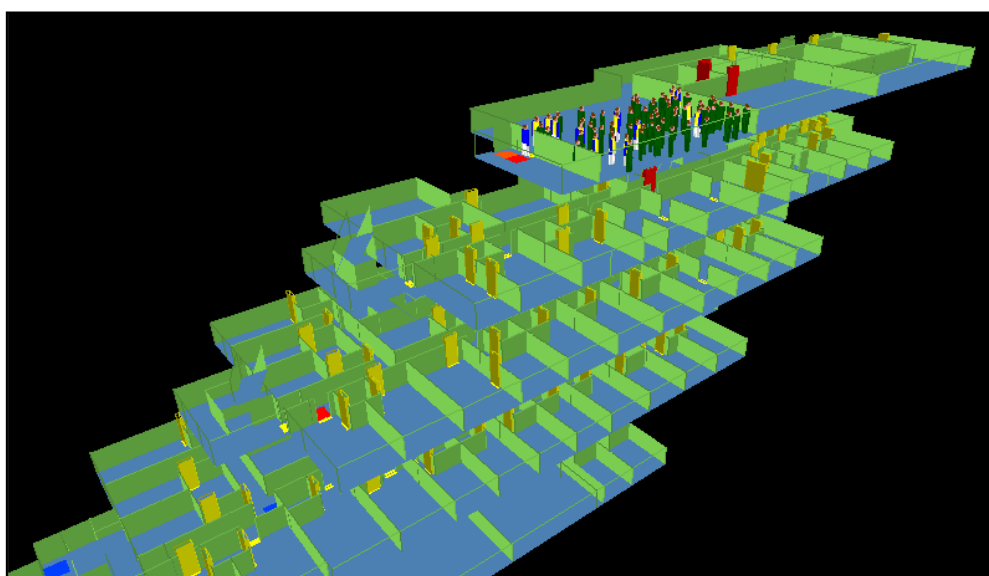


Figura 41 – Decks Deslocados da Posição Original.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Todas as informações são reunidas em curvas extraídas ao final de cada simulação. Estão apresentadas na Figura 42, as curvas de histórico de número de

agentes congestionados e de densidade máxima (número de agentes/m²) ao longo do tempo (s), para uma simulação diurna.

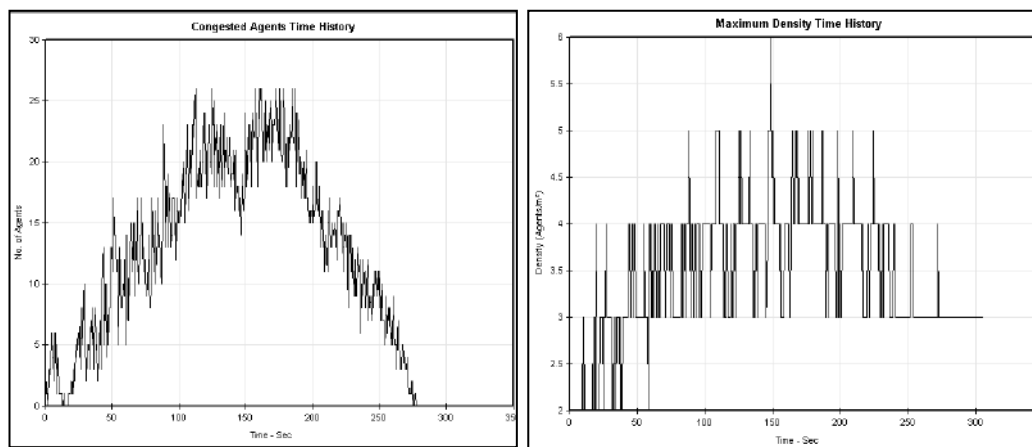


Figura 42 – Número e Densidade Máxima de Agentes Congestionados.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Conforme apresentado no item 5.4, para que os resultados obtidos com as simulações sejam confiáveis, estas precisam ser realizadas em blocos ou lotes. Após a distribuição da carga de pessoas e imputadas as características dos agentes, é possível selecionar o número de simulações que acontecerão em um bloco, através da função *batch manager*. Os resultados apresentados neste estudo são provenientes de blocos de 50 simulações para cada configuração inicial da população selecionada, como sugerido pela IMO.

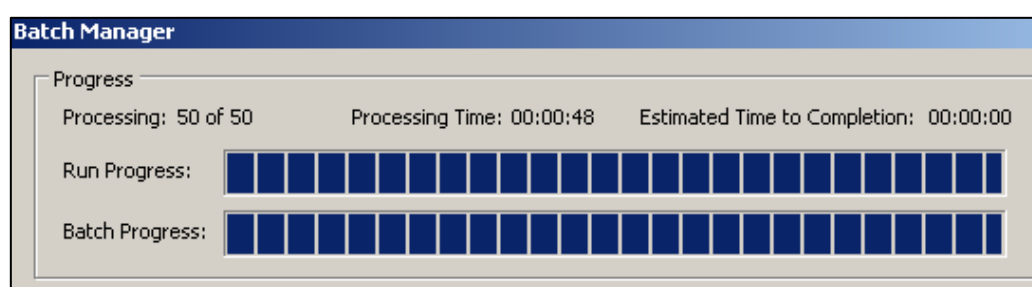


Figura 43 – Simulações em Blocos.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

O parâmetro evacuabilidade, descrito no item 6.2.1, é apresentado ao final de cada bloco, através de gráficos como o apresentado na Figura 44.

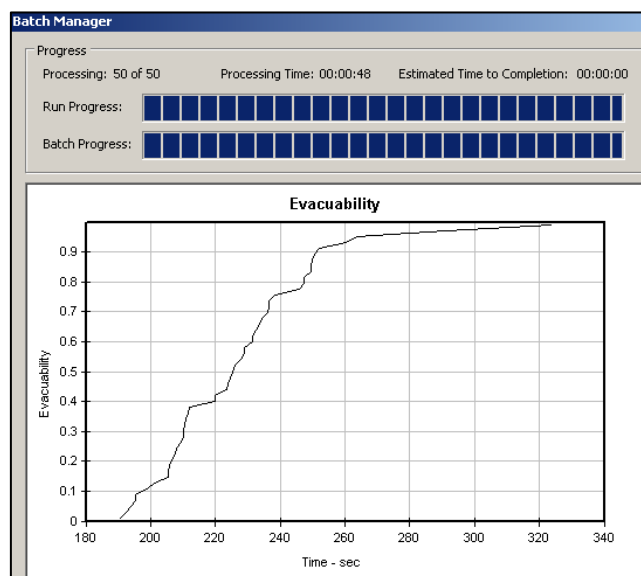


Figura 44 – Evacuabilidade para 50 Simulações.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

6.6 Simulações de Incêndio

Um aplicativo desenvolvido especificamente para integrar simulações de incêndio do FDS com as simulações de evacuação do EVI (*FDS to EvI*), pretende utilizar os resultados fornecidos pelo primeiro como entradas para o segundo software. A superposição de modelagens tão sofisticadas, incorporando elevado número de dados, costuma acumular erros que produzem resultados pouco confiáveis. Em SICURO (2016), foi observado que apesar dos resultados das simulações de incêndio terem sido levados ao EVI através do aplicativo mencionado, os agentes desconsideravam o fogo e a fumaça durante a evacuação. Caso a menor rota de fuga passasse pelo local do incêndio, os agentes caminhavam em direção a ele, contrariando o objetivo principal de um processo de evacuação. Sendo assim, optou-se para esta pesquisa a utilização de simulações paralelas entre FDS e EVI, com posterior cruzamento de dados.

A princípio, foram realizadas quatro simulações de incêndio que diferiam em relação ao ponto de partida do evento. Na primeira simulação, ficou determinado que o incêndio seria deflagrado na cozinha, localizada no deck A, por ser um ambiente onde habitualmente muitos incêndios iniciam durante a navegação. Nas outras três simulações, foram utilizadas coordenadas de compartimentos dos decks B, C e D localizados ao longo do maior corredor da superestrutura. Na Tabela 7, encontram-se as coordenadas inseridas no FDS dos pontos selecionados para o início do incêndio em cada um dos quatro casos (medidas em metros).

Tabela 7 – Coordenadas dos Focos de Incêndio.

DECK	COORDENADAS	AMBIENTE
A	x = 8.5	Cozinha
	y = 17.0	
	z = 0.0	
B	x = 8.1	Banheiro Masculino Central
	y = 17.4	
	z = 3.0	
C	x = 8.5	Banheiro Masculino Central
	y = 7.6	
	z = 6.0	
D	x = 8.6	Banheiro Masculino Central
	y = 14.4	
	z = 9.0	

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Para extração dos resultados foram escolhidos sete planos de referência passando pela estrutura, ao longo dos quais foi realizado o acompanhamento de parâmetros como temperatura, concentração de gases tóxicos, visibilidade e índices de FED. Um plano vertical cortando o eixo x (conforme orientação da Figura 44), passando longitudinalmente pelo corredor principal da superestrutura, permaneceu fixo durante todas as simulações para auxiliar principalmente as análises primárias de evacuação estabelecidas na MSC.1/Circ.1238 (casos 1 e 2), quando considera-se que os evacuados seguem ao longo das rotas de escape principais e conhecem o seu caminho até os pontos de encontro, como descrito no item 5.4. Na Figura 45, esse plano está ilustrado com a respectiva escala de concentração de monóxido de carbono, uma das saídas fornecidas pelo FDS para cada simulação.

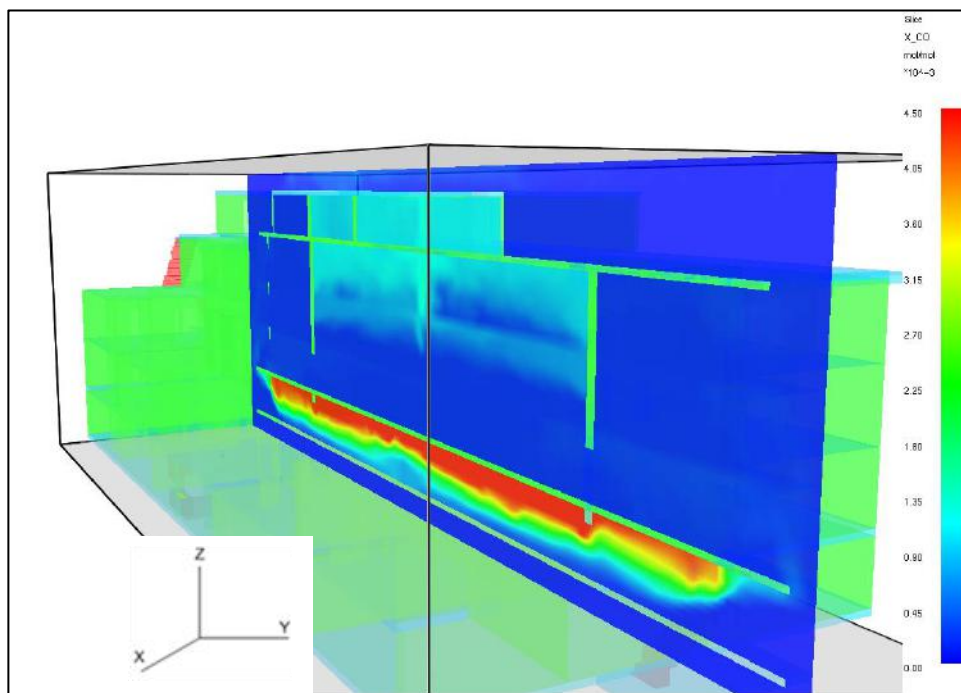


Figura 45 – Plano ao Longo do Corredor Principal.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Um segundo plano vertical, cortando o eixo y, foi deslocado a cada simulação de forma que passasse pelo ambiente onde o incêndio era deflagrado. Esse plano foi escolhido visando a análise dos efeitos do fogo e da fumaça sobre os tripulantes com objetivo de avaliar e/ou combater o incêndio, que deveriam seguir em direção ao foco do acidente.

Em relação ao eixo z, as análises foram realizadas sobre cinco planos horizontais passando por cada deck. Considerando que o navio sob análise de evacuação nesta pesquisa pertencia à frota brasileira, as alturas pelas quais os planos horizontais cortariam o eixo z foram calculadas conforme demonstrado a seguir.

Objetivando a análise dos efeitos da inalação de gases tóxicos, o ponto em que cada plano horizontal cortaria o eixo z foi estabelecido a partir do cálculo da altura média do nariz dos tripulantes. De acordo com a Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF 2008-2009) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) a altura média de um brasileiro do gênero masculino, tomado como referência por ser esse o gênero da maior parte da população aqui considerada, é igual a 1,72m. Segundo manuais de ergonomia, é possível aproximar a distância entre a base do queixo e o topo da cabeça de um homem a 1/8 de sua altura, e apesar de existirem muitos modelos de proporção

facial humana, pode-se considerar que a distância entre o nariz e o topo da cabeça é igual a $\frac{3}{4}$ desse valor. Sendo assim, a altura do nariz de um homem, utilizada como base para a altura do plano horizontal de cada deck, é aproximadamente 1,56 m ($29 \cdot 172 / 32 = 155,875$ cm).

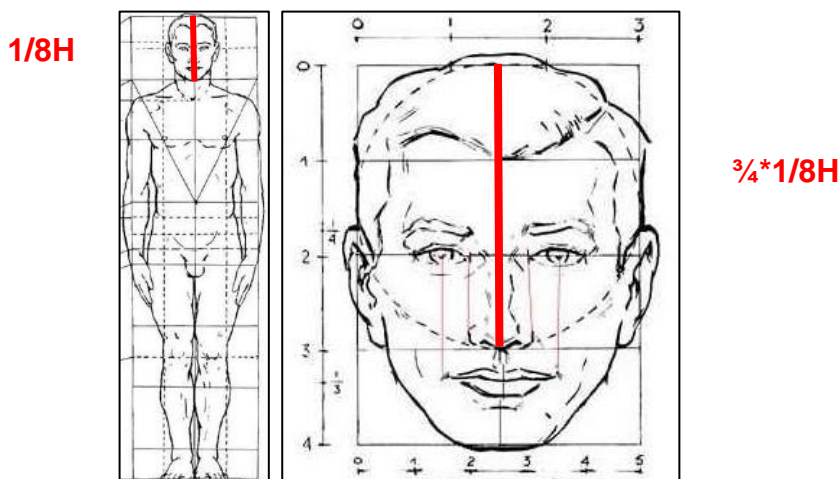


Figura 46 – Proporção Facial Humana.

Fonte: <http://www.oocities.org/themsfx/esculb8.htm>

Na Figura 47, é possível observar três planos passando pela cozinha, localizada no Deck A, com escala de temperatura referente ao plano horizontal a 1,56m de altura deste deck. Os outros 4 planos horizontais utilizados, passando pelos demais decks, foram aqui omitidos para facilitar a visualização da figura.

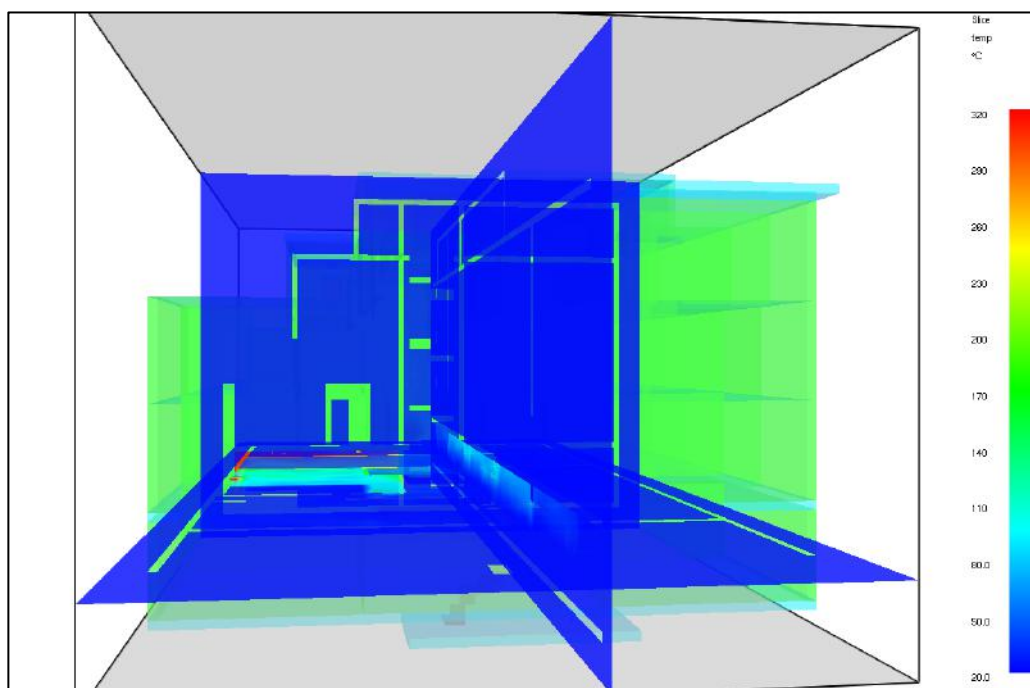


Figura 47 – Planos de Referência para Extração dos Resultados.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Após as diferentes simulações observou-se que os efeitos da temperatura ao longo dos planos seleccionados eram similares para as quatro configurações iniciais estabelecidas, tanto em relação ao deck onde o incêndio era deflagrado, quanto em relação aos demais decks. Já os efeitos da fumaça foram considerados mais relevantes quando o incêndio era deflagrado no deck A, acometendo de maneira mais severa os outros decks do que o observado nos casos em que o incêndio era deflagrado em pisos superiores. Dessa forma, optou-se por utilizar os resultados obtidos com o incêndio deflagrado na cozinha nas análises integradas com as simulações de evacuação.

6.7 Estimativa do Tempo para Deflagração da Evacuação

As atividades de percepção, interpretação e ação desencadeadas a partir da ordem de evacuação, que estabelecem o tempo para o início do movimento de fuga dos ocupantes do navio, já estão incorporadas nas simulações do EVI. Conforme explicado anteriormente, esse tempo (chamado de tempo de resposta - *awareness*) é somado ao tempo de deslocamento de cada agente e o somatório dos resultados individuais apresentado como o tempo total necessário para a evacuação. Entretanto, é importante também considerar o período compreendido entre o instante em que o incêndio é deflagrado até o soar do alarme de evacuação.

Sendo assim, computou-se primeiramente o intervalo de tempo entre a ignição e a detecção do incêndio. O fogo descontrolado pode ser percebido por um dos ocupantes do navio, mas detectores de calor e de fumaça são instalados nas embarcações de acordo com o FSS, 2007. Os detectores de calor levam, em média, 140 segundos para serem acionados, e detectores de fumaça, são acionados em torno de 20 segundos. A hipótese adotada para esta pesquisa é a de que os detectores foram devidamente instalados no navio e estarão em perfeito funcionamento durante as simulações. Assume-se preliminarmente que sejam necessários 80 segundos após o início do incêndio para que tripulantes sejam informados de que precisam seguir até o local: 20 segundos atribuídos aos detectores de fumaça, e 60 segundos à percepção e reação dos técnicos em relação ao alerta de perigo e a comunicação da existência de uma situação de emergência. Conforme visto no item 6.1, nem sempre os alertas fornecidos pelos equipamentos são assumidos de imediato como verdadeiros por parte dos técnicos, que somente após a correta leitura e interpretação das informações, farão o comunicado ao oficial responsável pela segurança do navio. O envio de brigadistas ao local da emergência ainda dependerá de uma série de processos decisórios, que culminam com a ordem do comandante. Considera-se nesta pesquisa que o comandante não relutará em enviar a equipe de emergência ao local do incêndio, fazendo-o assim que for contatado.

Para calcular o tempo de chegada ao local do incêndio, foram efetuadas simulações no EVI apenas com os agentes destinados a fazer a inspeção da situação de emergência, sendo estes distribuídos aleatoriamente pela superestrutura do navio. Uma vez que o processo de evacuação ainda não havia iniciado, os demais agentes não foram considerados nessas simulações. Conforme apresentado no item 6.5, todos os agentes considerados para essa função eram do gênero masculino, com idade entre 20 e 30 anos, com tempos de resposta, para o dia e para a noite, e velocidades de deslocamento, para o plano, subida e descida de escadas, pré-definidas. A grande variação entre os tempos observados para a chegada ao local do evento foi atribuída ao número de agentes considerados em cada simulação, a distância inicial entre cada agente e o ambiente a ser alcançado, e o horário presumido (dia ou noite), sendo estes tempos computados pelo EVI quando o último agente atinge seu objetivo. Na Figura 48, está exposta uma simulação em que 5 agentes tinham objetivo de chegar à cozinha, em uma situação durante o dia. O primeiro tripulante chega ao local em 37 segundos,

porém, o tempo registrado para essa simulação foi de 97 segundos, quando o último agente completa seu objetivo.

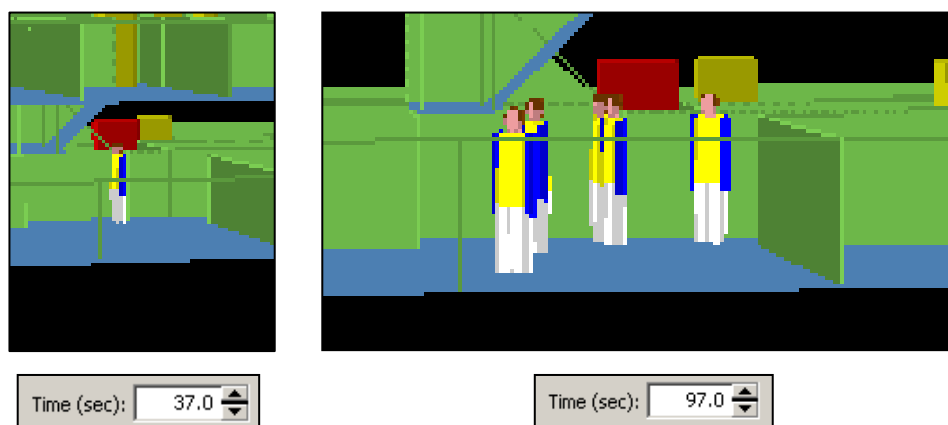


Figura 48 – Registros de Objetivos Atingidos.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Ao final de uma bateria de testes ficou estipulado para esse cálculo uma equipe de emergência composta por 5 agentes, com tempo de resposta igual a zero, sendo 2 deles distribuídos aleatoriamente pela superestrutura do navio e 3 alocados no deck D, no extremo oposto do corredor onde está localizada a cozinha. Foram realizadas 4 distribuições diferentes e 50 simulações para cada uma delas, chegando-se ao tempo médio de 82 segundos.

Ao chegar ao local do incêndio, a equipe de emergência ainda precisa analisar a situação e comunicar a inevitabilidade de evacuação ao comandante. Para estimar o tempo que os técnicos teriam para essa apreciação foram analisados os teores de FED, apresentado no item 6.2.2, e a temperatura do ambiente a ser inspecionado. Na Figura 49, são apresentados três momentos de uma simulação no FDS com resultados obtidos sobre o plano que passa pelo corredor principal da superestrutura do navio. No primeiro momento aqui registrado, com 67 segundos de simulação, pode-se constatar que o nível de FED permanece inferior ao limite de 0,3 ao longo de todo o corredor principal (representado pela cor azul escura), quando as consequências do calor, da fumaça e dos gases tóxicos ainda são consideradas desprezíveis. A partir desse instante, já é possível verificar o aumento desse valor, passando para um estágio onde as lesões são consideradas de leves a graves ($FED \geq 0,3$). Na segunda ilustração, tomada a 295 segundos do início da simulação, pode-se observar a camada azul clara avançando ao

longo do plano em destaque, correspondente ao FED em torno de 0,7. Na terceira e última ilustração, dos momentos finais desta simulação está exposto um cenário em que não é mais possível haver sobreviventes no local, $FED \geq 1,0$.

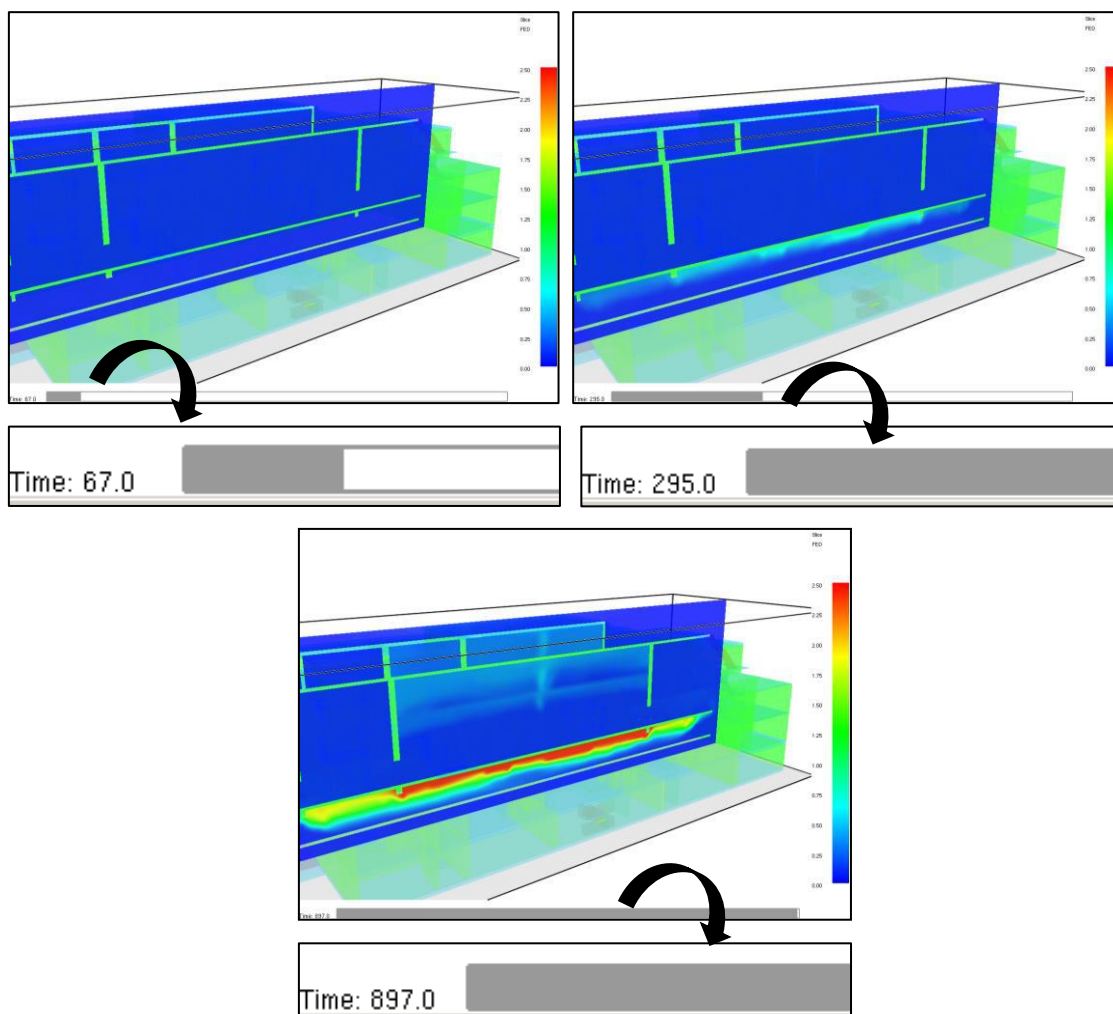


Figura 49 – FED ao Longo do Corredor Principal.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

A temperatura máxima suportada pelo ser humano depende da variação ao qual será submetido e do tempo que ficará exposto. Foi determinado por meio de testes sob condições controladas que o homem é capaz de sobreviver por 20 minutos em um ambiente a 127°C. Com base nessa informação, além da análise do teor de FED, foi observado adicionalmente o tempo necessário para que a referida temperatura fosse atingida no ambiente gerador do incêndio, no qual a equipe de emergência precisaria permanecer. Para determinação desse instante, foi utilizado um recurso disponibilizado pelo FDS, que apresenta uma coloração específica para um determinado valor

previamente estipulado. No exemplo apresentado na Figura 50, a cor preta destaca a temperatura a ser alcançada.

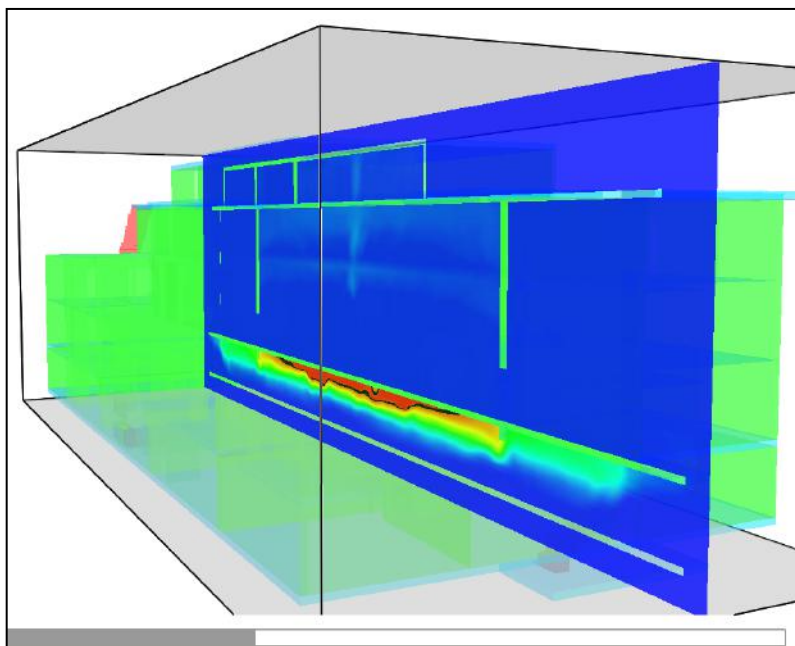


Figura 50 – Temperatura Limite.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

A título de ilustração, apresenta-se no Anexo B, o acompanhamento da variação de temperatura para três planos com incêndio deflagrado na cozinha.

Foram registrados os tempos necessários para que o índice de FED ultrapassasse o valor de 0,7 e para a temperatura atingir 127°C no ambiente onde o incêndio foi deflagrado. Observou-se que o tempo para a temperatura no ambiente chegar a 127°C era menor que o necessário para o índice de FED ultrapassar o valor de 0,7: 97 segundos para o primeiro caso e 185 segundos para o segundo. Levando-se em conta que os integrantes da equipe de emergência utilizam vestimentas e equipamentos que os protegem de gases tóxicos e altas temperaturas, considerou-se que a equipe chegaria em tempo hábil para a avaliação, e que ainda teria pelo menos 60 segundos para comunicar ao comandante a necessidade de evacuação. Neste ponto, considera-se mais uma vez que o comandante acatará as orientações dos técnicos, deflagrando o processo de evacuação imediatamente, assim como adotado para o envio da equipe de emergência ao local do incêndio.

Em suma, para a integração entre as simulações de incêndio e evacuação, o tempo que será adicionado aquele calculado pelo EVI para a evacuação será igual a 222 segundos. Na Figura 51, estão apresentadas as parcelas correspondentes a esse resultado: 20 segundos referentes ao soar do alarme do detector de fumaça, 60 segundos para os técnicos fazerem a leitura do equipamento e comunicarem a emergência ao comandante, que enviará imediatamente a equipe competente ao local do incêndio, 82 segundos para a equipe se deslocar até o ambiente, e 60 segundos para a análise da situação e comunicação para evacuação imediata.

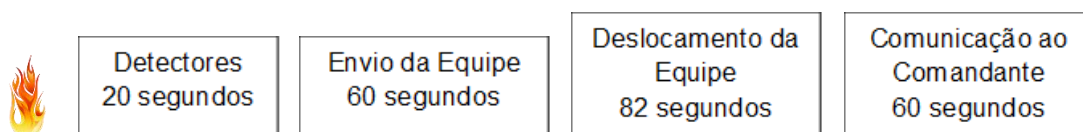


Figura 51 – Parcelas a Serem Adicionadas ao Tempo Calculado pelo EVI.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

7 Avaliação dos Resultados

As simulações de evacuação realizadas para esta pesquisa seguiram as determinações da MSC.1/Circ.1238 no que se refere aos cenários a serem analisados e o número de simulações para cada um deles. Conforme explicado anteriormente, é necessário examinar quatro casos distintos, dois diurnos (casos 2 e 4) e dois noturnos (casos 1 e 3). A diferença entre os casos dentro de um mesmo turno refere-se à interdição ou não da rota de fuga principal. Para os casos em que as rotas principais não deveriam estar disponíveis (casos 3 e 4), as extremidades dos maiores corredores destas rotas foram bloqueadas. Pode-se observar na Figura 52 a diferença entre uma passagem bloqueada, representada na cor preta, e uma passagem livre, representada na cor vermelha.

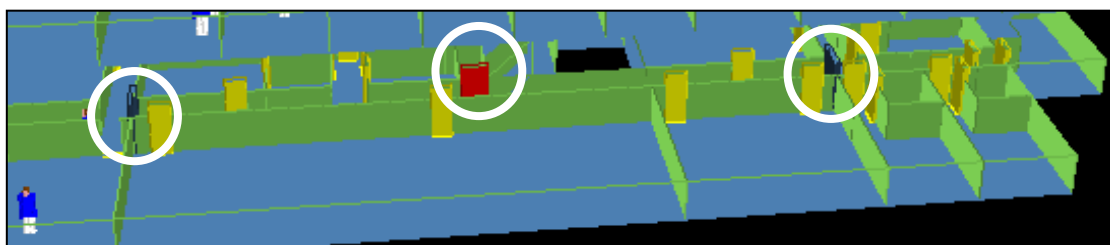


Figura 52 – Bloqueio do Corredor Principal.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

A partir do bloqueio dos corredores principais, novas rotas são planejadas e os agentes redirecionados, conforme pode ser verificado na Figura 53.

```
PathPlanner: Replan due to blocked door in d3-Public67
PathPlanner: Replan due to blocked door in d3-Public67
PathPlanner: Replan due to blocked door in d0-Public14
PathPlanner: Replan due to blocked door in d3-OpenDeck164
PathPlanner: Replan due to blocked door in d5-Public51
PathPlanner: Replan due to blocked door in d1-Public182
PathPlanner: Replan due to blocked door in d3-Public54
PathPlanner: Replan due to blocked door in d0-Public18
PathPlanner: Replan due to blocked door in d1-Public147
evi>
```

Figura 53 – Redirecionamento dos Agentes.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Ao se propor bloqueios que venham a impedir definitivamente o movimento de algum agente, não permitindo que este selecione rotas secundárias, a simulação é paralisada. O software envia um aviso para que o domínio semântico seja reavaliado e sinaliza os agentes aprisionados colorindo-os com a cor vermelha, conforme demonstrado na Figura 54.

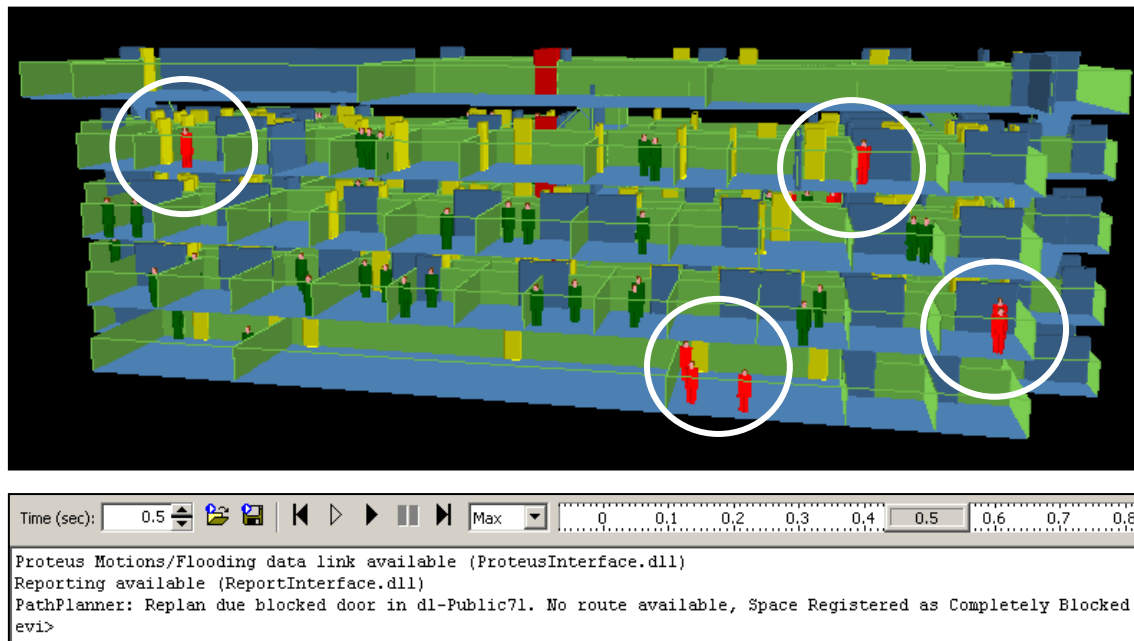


Figura 54 – Agentes Aprisionados.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Por essa razão, o caso mais extremo possível a se cogitar para impedimento simultâneo das rotas principais de todos os decks, contou com a seguinte configuração: bloqueio das duas extremidades do corredor principal do Deck A e do Deck B, e de apenas uma extremidade dos corredores principais dos Decks C e D, sendo estas duas últimas bloqueadas em posições opostas para que os agentes precisassem percorrer toda a extensão do maior corredor ao trocar de deck.

Os resultados obtidos para cada cenário de evacuação serão expostos nos itens subsequentes e comparados aos resultados obtidos com a simulação que considerou o incêndio sendo deflagrado na cozinha do deck A. Para que a correspondência entre os tempos decorridos na simulação de incêndio e nas simulações de evacuação seja realista, a cada tempo obtido nas simulações de evacuação será somado o tempo que considera as atividades entre o início do incêndio e o início do processo de evacuação, estimado no item 6.7.

A distribuição dos agentes pela superestrutura do navio em cada cenário seguiu as orientações encontradas no capítulo 13 do FSS Code, apresentadas no capítulo 5 deste trabalho, acompanhando as adaptações referentes aos dados demográficos aplicadas ao tipo de navio aqui estudado, conforme exposto no capítulo 6. Desta forma, a distribuição de pessoas para os cenários noturnos (casos 1 e 3) ficou assim estabelecida:

Tripulantes Tipo I - Com objetivo único de chegar ao ponto de encontro (helideck): Todos os 56 agentes com este perfil foram distribuídos pelas cabines, obedecendo a capacidade de cada uma delas.

Tripulantes Tipo II – Com objetivos intermediários: 9 tripulantes com este perfil foram alocados em suas cabines, 3 tripulantes designados a espaços públicos, 1 tripulante previsto para estar na cozinha e 1 tripulante localizado no helideck, com objetivo de caminhar em contrafluxo à evacuação em direção à cabine mais distante do deck A.

Para os cenários diurnos (casos 2 e 4) a distribuição de pessoas foi estabelecida da seguinte maneira:

Tripulantes Tipo I - 42 agentes distribuídos aleatoriamente por espaços públicos e 14 agentes partindo de suas cabines, obedecendo a capacidade de cada uma delas.

Tripulantes Tipo II – 4 agentes iniciaram o processo de evacuação partindo de suas cabines, 6 partiram de espaços públicos, 2 partiram da cozinha e 2 do helideck.

7.1 Tempo Mínimo para Evacuação

7.1.1 Caso 1 - Evacuação Primária Noturna

O tempo médio obtido para este cenário a partir das 50 simulações sugeridas pela norma foi de 716,6 segundos, com desvio padrão de 28,4s. Conforme proposto na MSC.1/Circ.1238, ao se considerar apenas os 5% maiores tempos registrados, o tempo necessário para a evacuação segundo o EVI (tempo de resposta mais tempo de deslocamento) será igual a 766,5 segundos. Somando a esse tempo, o intervalo estimado para as atividades que ocorrem entre o início do incêndio e o início do processo de evacuação, chega-se a 988,5 segundos (aproximadamente 16,5 minutos).

Lembrando que as suposições adotadas para o cálculo deste período acrescentado reproduzem um cenário extremamente otimista, com detectores de fumaça em perfeito funcionamento e tempos de resposta do comandante e brigadistas iguais a zero, as análises que serão apresentadas neste trabalho consideram um intervalo a ser somado ao tempo de evacuação obtido através das simulações do EVI, com limite inferior de 222 segundos e limite superior dependente do processo decisório inerente às situações de emergência. Na figura 55, encontra-se o tempo estabelecido pelo EVI como necessário à evacuação total, representado no eixo das ordenadas em segundos, para cada uma das 50 simulações, representadas no eixo das abscissas.

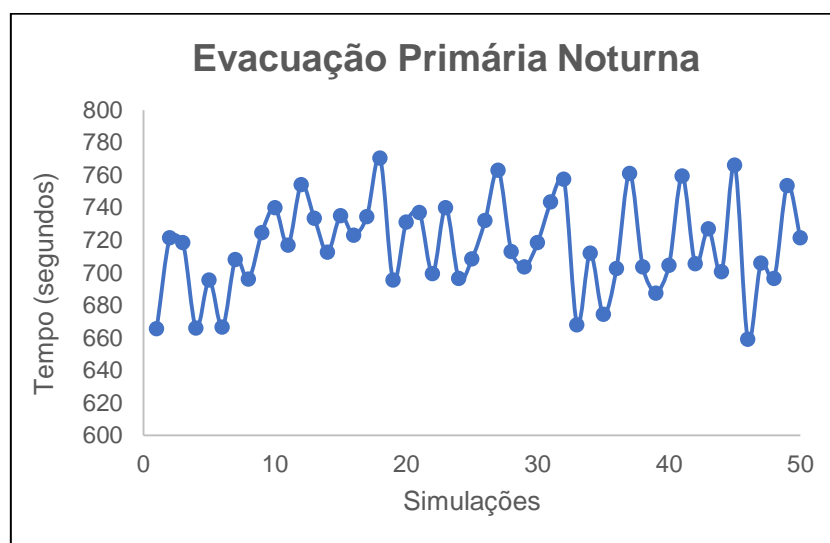


Figura 55 – Tempos Fornecidos pelo EVI para Evacuação Primária Noturna.

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

7.1.2 Caso 2 - Evacuação Primária Diurna

O tempo médio encontrado com as 50 simulações para este cenário foi de 577,2 segundos e desvio padrão igual 43,6s. Tomando-se apenas os 5% maiores valores, a média para este cenário é igual a 648,7 segundos, que somada ao tempo mínimo estimado para as atividades que ocorrem antes do processo de evacuação ser deflagrado, será igual a 870,7 segundos (14,5 minutos). Na figura 56, observamos os tempos resultantes de cada simulação representados no eixo vertical, em segundos, e as correspondentes simulações no eixo horizontal.

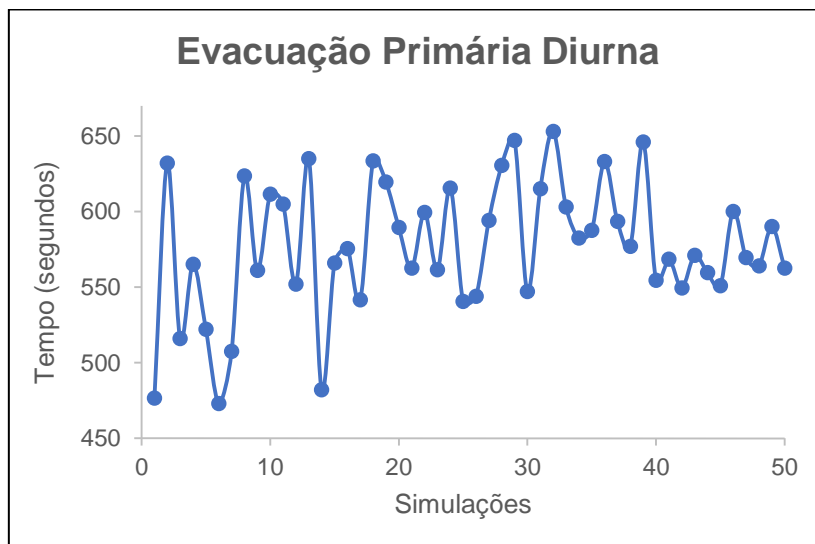


Figura 56 – Tempos Fornecidos pelo EVI para Evacuação Primária Diurna.

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

7.1.3 Caso 3 - Evacuação Secundária Noturna

O tempo médio resultante neste cenário para as 50 simulações foi de 713,9 segundos e desvio padrão igual a 37,1s. Dentre os 5% maiores tempos encontrados, a média foi de 778,3 segundos, que somados aos 222 segundos estimados para as atividades anteriores ao início da evacuação, chegou-se ao tempo mínimo de 1000,3 segundos para este caso (16,7 minutos). Os tempos fornecidos pelo EVI estão plotados no gráfico da Figura 57.

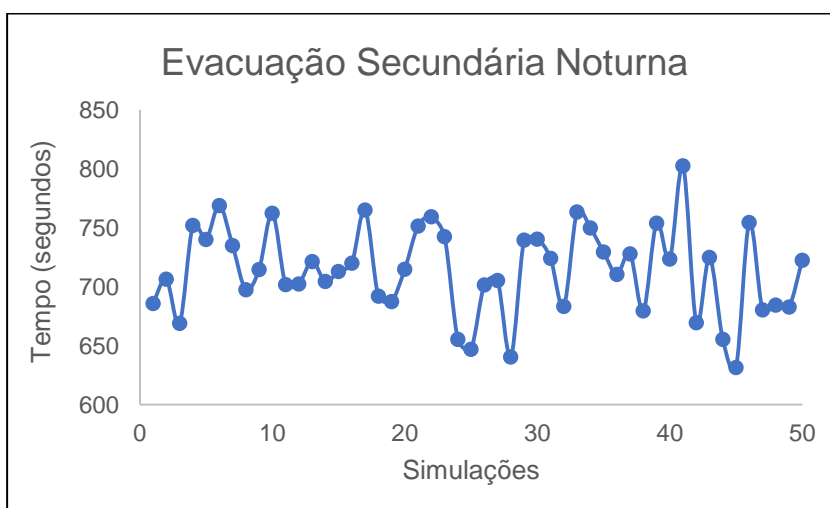


Figura 57 – Tempos Fornecidos pelo EVI para Evacuação Secundária Noturna.

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

7.1.4 Caso 4 - Evacuação Secundária Diurna

O tempo médio obtido para as 50 simulações deste cenário foi de 594,4 segundos e desvio padrão de 30,3s. Tomando-se os 5% maiores valores, obtém-se a média de 656,7 segundos, que somadas a 222 segundos, chega-se aos 878,7 segundos para este caso, aproximadamente 14,6 minutos. No gráfico da Figura 58 encontra-se os tempos resultantes para as 50 simulações no EVI.

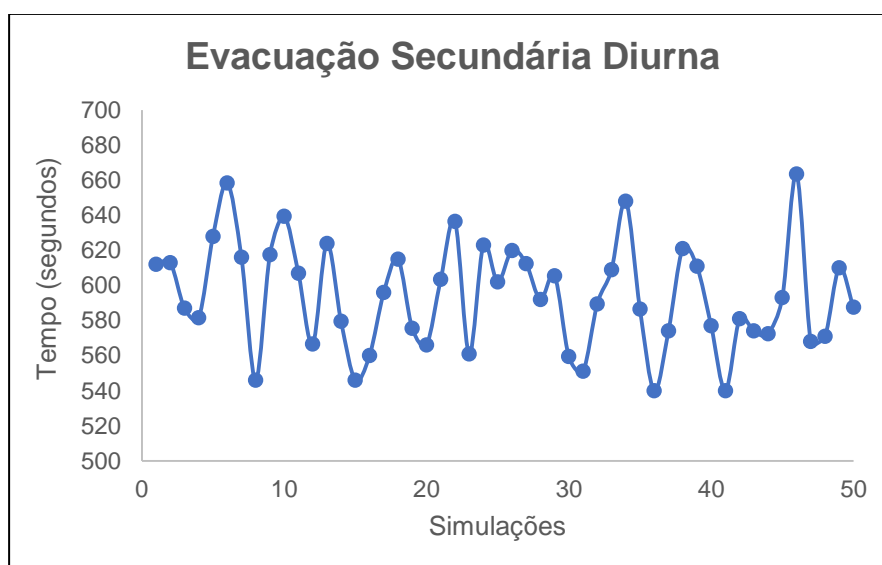


Figura 58 – Tempos Fornecidos pelo EVI para Evacuação Secundária Diurna.

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

A Tabela 8, apresenta os tempos mínimos (em segundos) que serão utilizados nas análises integradas aos resultados das simulações de incêndio para os quatro casos propostos pela IMO.

Tabela 8 – Tempos para as Análises Integradas.

CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
988,5	870,7	1000,3	878,7

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

7.2 Identificação de Pontos de Congestionamento

Congestionamentos que possam ocorrer durante o processo de evacuação são sinalizados a partir de densidades populacionais superiores a 4 pessoas por metro quadrado por um período maior que 10% da duração total da simulação. Na Figura 59, estão apresentadas as identificações de pontos de congestionamento para cada um dos quatro casos em estudo (regiões vermelhas). O que se observou ao longo das simulações é que a largura dos corredores está dimensionada de tal forma que o escoamento dos agentes nesses ambientes não fica comprometido em nenhum instante dos casos analisados. Por outro lado, os patamares entre as escadas apresentam-se como regiões muito densas em todos os cenários estudados, de onde se pode concluir que a largura das portas e passagens entre os decks é uma dimensão a ser repensada para este tipo de navio.

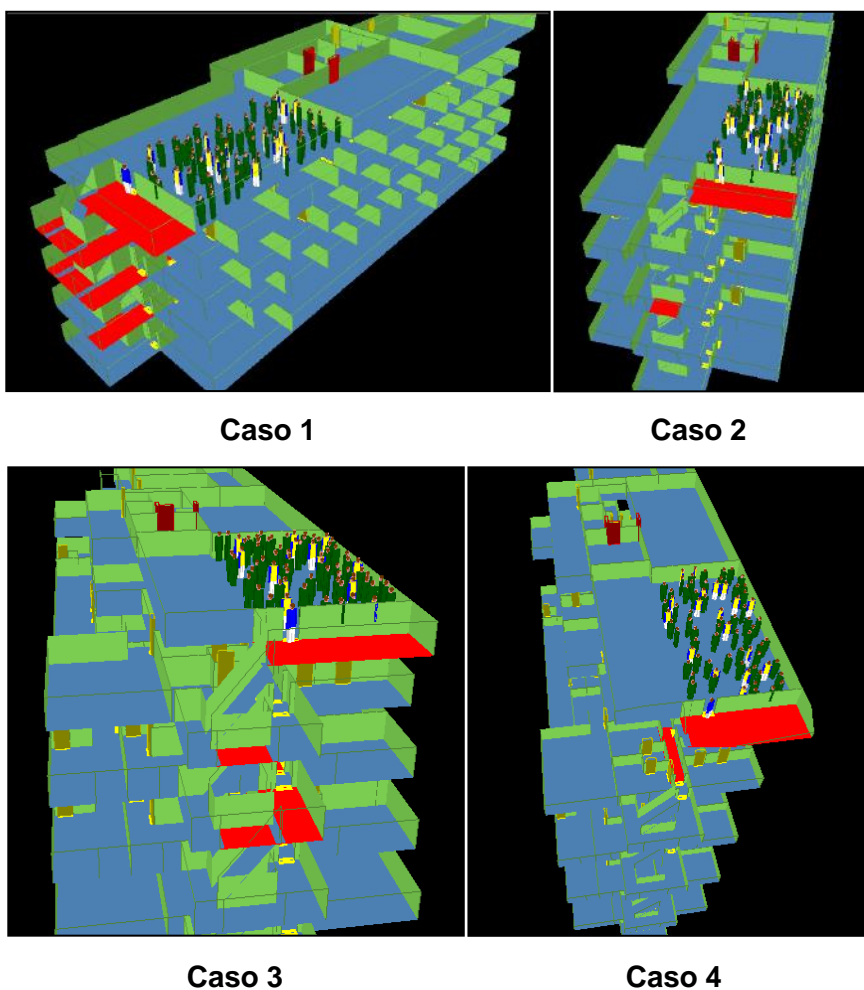


Figura 59 – Identificação de Pontos de Congestionamento.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Objetivando a confirmação a respeito do dimensionamento dos corredores, foram realizadas algumas simulações aleatórias, com distribuição de agentes em casos mais extremos que os propostos pela norma. O único caso encontrado para congestionamento de corredores foi a circunstância em que todos os agentes eram enviados para um mesmo ambiente localizado ao longo de um corredor, conforme ilustrado na Figura 60, caso não previsto neste estudo ou nas indicações da norma.

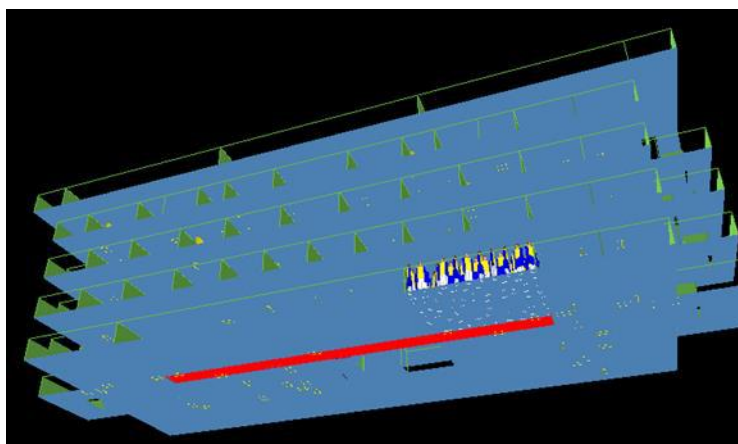


Figura 60 – Congestionamento de Corredores.

Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Conforme pode ser observado nos gráficos referentes ao caso 1 (Evacuação Primária Noturna), exibidos na Figura 61, os picos de congestionamento chegam a 19 agentes confinados em espaços com ocupação de até 5 pessoas/m². Em uma população de apenas 70 tripulantes, a aglomeração de quase 30% destes representa um percentual preocupante. O período em que essas pessoas estavam retidas nos pontos mais críticos de congestionamento observado no gráfico, entre 550 e 600 segundos de simulação, também receberá o acréscimo de 222 segundos, para que os efeitos do incêndio sobre esses agentes possam ser corretamente avaliados, assim como será praticado nos demais cenários.

Como visto anteriormente, as curvas de histórico de congestionamento podem ser associadas às regiões de densidade crítica, facilitando o cruzamento de dados entre as simulações de evacuação e incêndio. Para este caso, de evacuação primária noturna, as regiões críticas em relação a congestionamentos foram os patamares entre os decks B e C, os patamares entre os decks C e D, os patamares entre os decks D e E, e a saída para a *muster station*, acesso ao deck E.

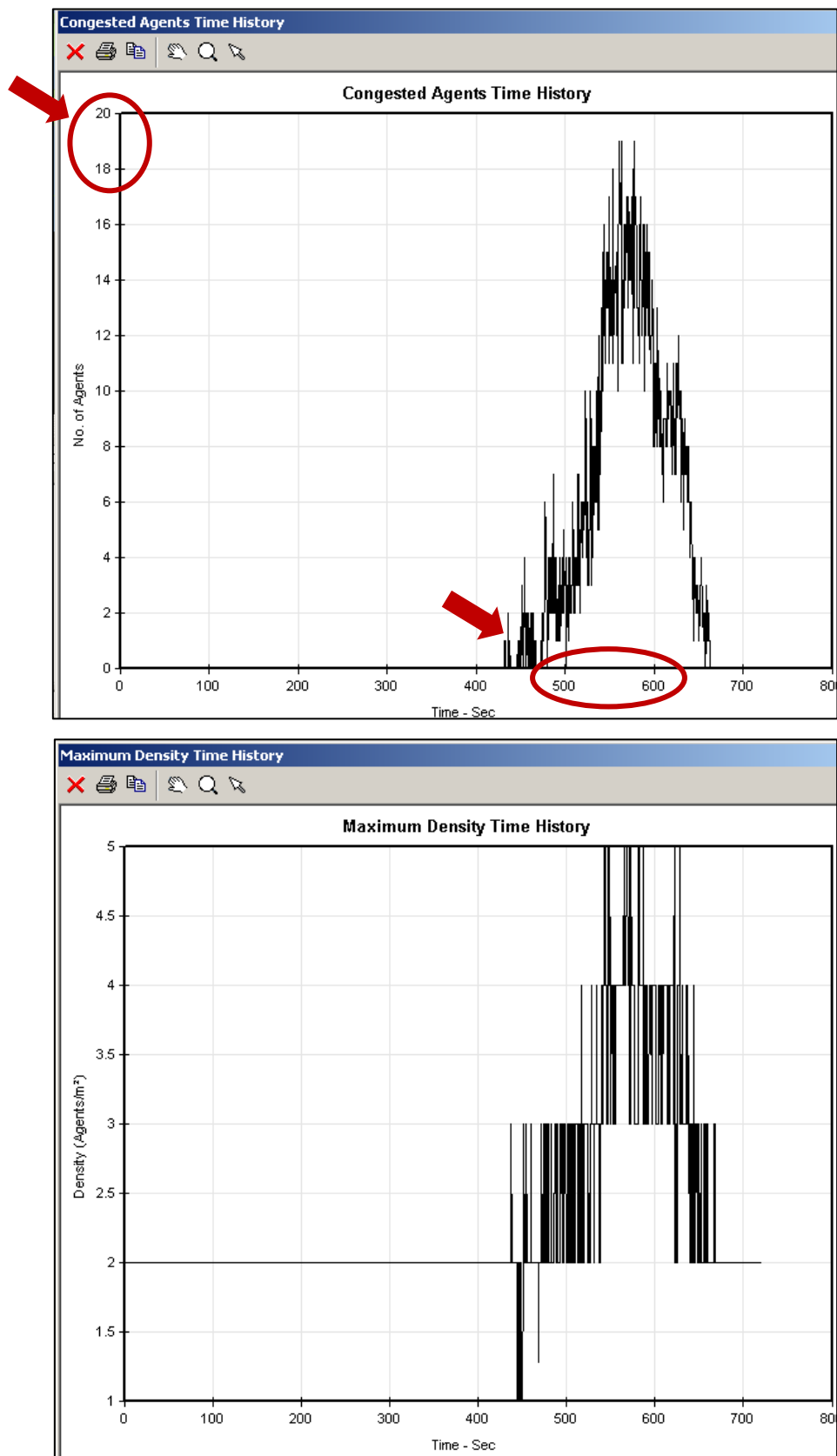


Figura 61 – Histórico de Congestionamentos – Caso 1.
Fonte: Elaboração da Autora, 2018

Na Figura 62, observa-se que para o cenário de evacuação primária diurna, o número máximo de agentes congestionados é inferior ao primeiro caso, concentrando 11 agentes nesta situação, em que a taxa de ocupação de 5 pessoas/m² nos pontos de congestionamento também foi atingida. Neste cenário, as regiões consideradas congestionadas foram o patamar entre os decks C e D, e o acesso ao deck E, em torno de 550 segundos após o início do processo de evacuação.

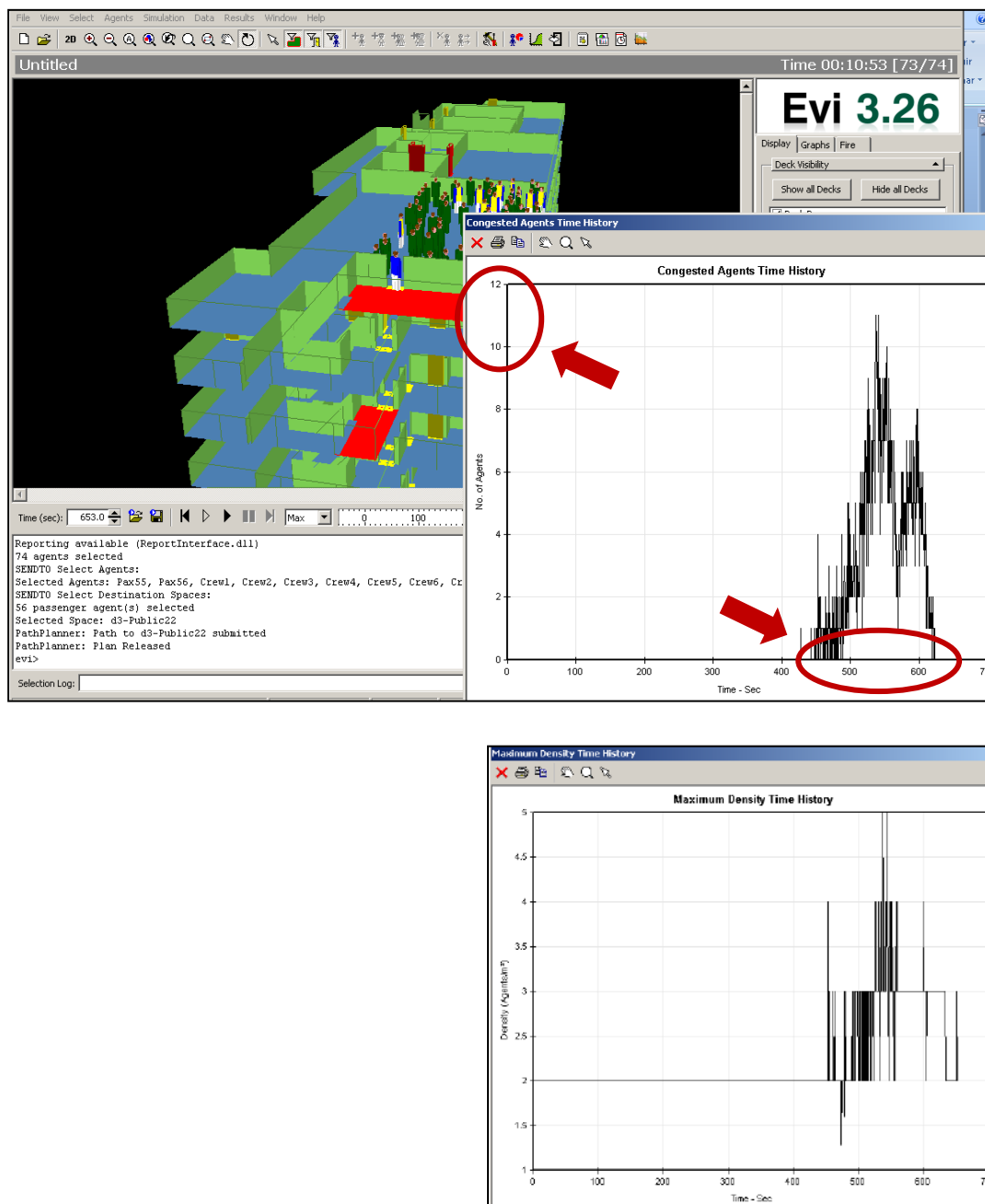


Figura 62 – Histórico de Congestionamentos – Caso 2.

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

Para o caso 3, evacuação secundária noturna, apresenta-se na Figura 63, uma outra forma de identificação de regiões muito densas apresentada pelo EVI, em que é possível acompanhar o tempo em que cada ponto fica congestionado. Para esta situação noturna, apesar do tempo calculado para a evacuação ter sido maior que no caso 1, por consequência da indisponibilidade das principais rotas de fuga e da distribuição inicial dos agentes, ambas proporcionando maior contrafluxo, o número máximo de agentes congestionados foi menor que o verificado no primeiro caso, sendo igual a 14 para este cenário. Os pontos de congestionamento identificados foram os patamares entre os decks B e C, entre os decks C e D, e o acesso ao helideck, em 500 segundos de simulação.

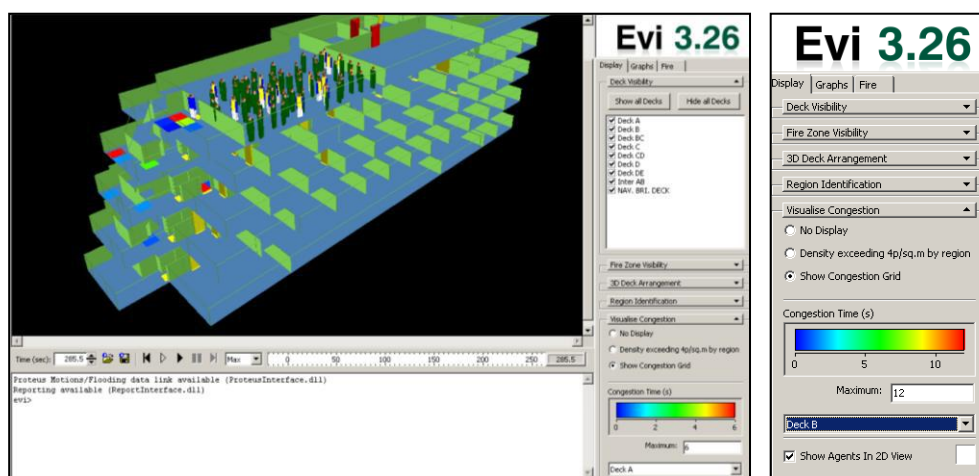


Figura 63 – Identificação de Congestionamentos – Caso 3.

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

Para o quarto e último cenário, evacuação secundária diurna, o número máximo de agentes congestionados encontrado foi igual a 8, com identificações de regiões muito densas no patamar entre os decks C e D, e a saída para o helideck, conforme verificado para o caso 2, entre 400 e 500 segundos de simulação.

Com base nesses resultados, seguiram-se as análises em relação à simulação de incêndio avaliando o tempo que os agentes teriam para transitar pelos corredores sem sofrer danos à sua integridade física, ainda que não congestionados nestes ambientes, e o tempo que poderiam permanecer enclausurados entre as escadas, nos patamares considerados críticos em relação a congestionamentos.

7.3 Efeitos do Incêndio sobre os Evacuados

A simulação de incêndio produziu resultados de temperatura e níveis de FED avaliados ao longo dos planos de corte apresentados no item 6.6. O período de pico de congestionamentos para os 4 cenários ocorreu entre 400 e 600 segundos de simulação de evacuação. Somando-se a esse período os 222 segundos estimados para esta comparação, apresentar-se-á os resultados obtidos através do FDS correspondentes ao intervalo entre 600 e 800 segundos de simulação de incêndio. O que se observou em relação à temperatura nesse período está apresentado nas duas tabelas a seguir. A Tabela 9 contém as faixas de temperatura percentualmente distribuídas em cada deck e a Tabela 10 apresenta as faixas de temperatura derivadas nos corredores principais e pontos de congestionamento.

Tabela 9 – Faixas de Temperatura por Deck entre 600 e 800s.

Deck	Faixas de Temperatura (°C)	
Deck A	50%	20 - 50
	10%	50 - 120
	40%	120 - 320
Deck B	20%	20 - 30
	55%	30 – 59.5
	25%	59.5 - 120
Deck C	90%	20 - 20.4
	5%	20.4 - 21.4
	5%	21.4 - 24
Deck D	65%	20 - 20.7
	20%	20.7 a 22.8
	15%	22.8 - 25
Deck E	50%	20 - 20.8
	15%	20.8 - 23.2
	35%	23.2 - 28

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

Tabela 10 – Variação de Temperatura entre 600 e 800s nos Corredores e Pontos de Congestionamento.

Ambiente	Variação de Temperatura (°C)
Corredor Principal Deck A	90 a 180 graus
Corredor Principal Deck B	40 a 59.5 graus
Corredor Principal Deck C	20 a 24 graus
Corredor Principal Deck D	22 a 25 graus
Patamar A-B	50 a 120 graus
Patamar B-C	30 a 40 graus
Patamar C-D	20 a 25 graus
Patamar D-E	23 a 25 graus
Patamar E	20 a 25 graus

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

Na Figura 64, estão expostos três momentos registrados durante as simulações no FDS, com as respectivas escalas de temperatura ampliadas para elucidação da correspondência entre as cores utilizadas para cada instante. Na primeira ilustração, tomada a 604 segundos do início do incêndio, encontra-se a faixa de temperatura em torno de 90 graus ao longo do corredor principal do deck A, e em torno de 320 graus na cozinha. A segunda ilustração apresenta em 710 segundos de simulação a faixa de temperatura correspondente ao corredor principal do deck B, com regiões em torno de 40°C até outras a 59,5°C. Na terceira ilustração, a 890 segundos do início do incêndio, o plano em destaque está passando pelo deck D, mostrando que nos instantes finais da simulação, a temperatura no corredor principal deste deck não ultrapassa os 25°C, estando quase todo o deck a 20°C.

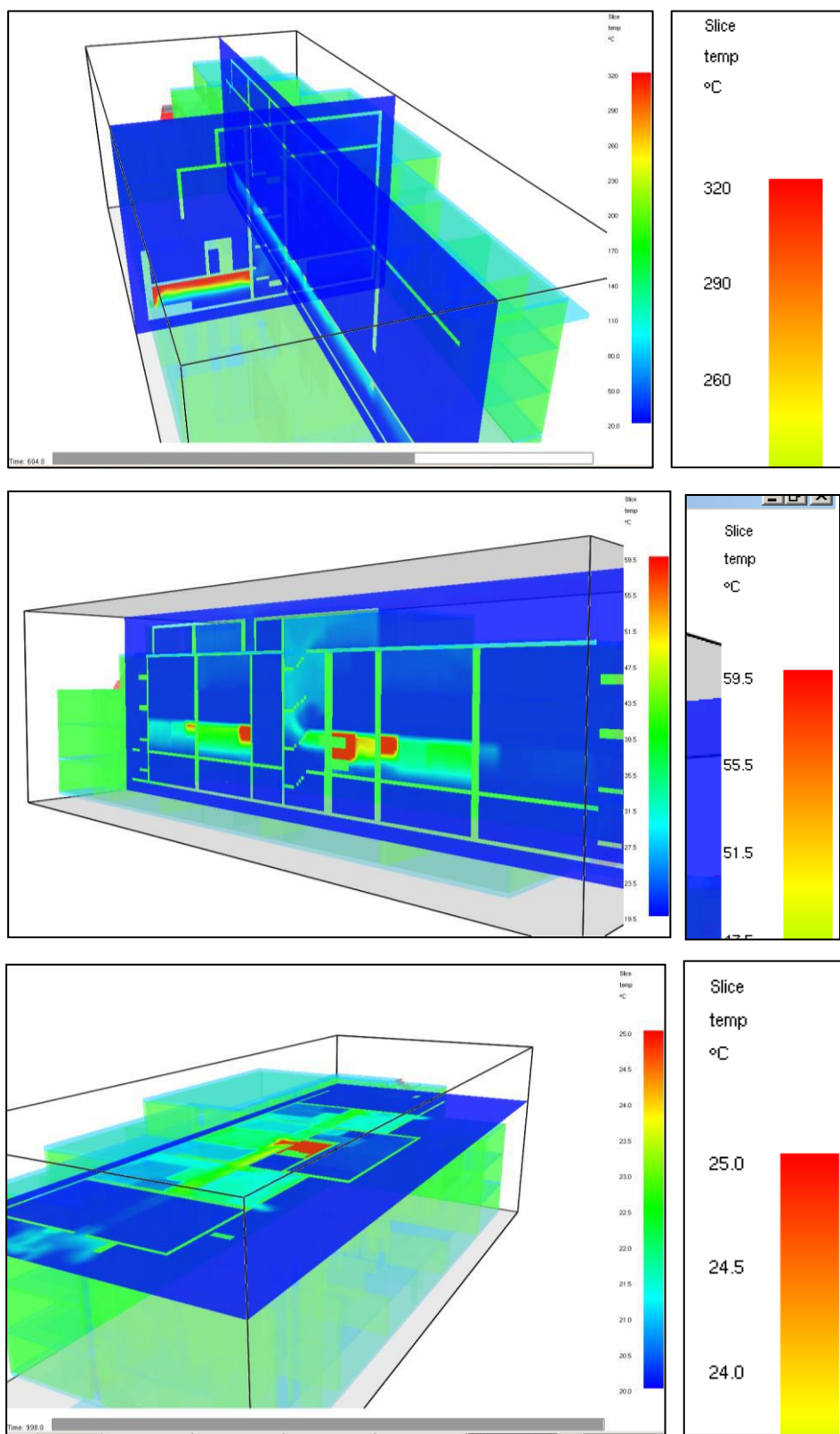


Figura 64 – Registros de temperaturas nos decks A, B e D.
 Fonte: Elaboração da Autora, 2017

Os índices de FED também foram avaliados ao longo dos 5 decks e nos ambientes mais congestionados para o mesmo intervalo. Como não houve grandes variações em relação aos decks superiores no período considerado, foram registrados também os índices correspondentes aos instantes finais da simulação, apresentados nas Tabela 11 e Tabela 12.

Tabela 11 – Variação dos Níveis de FED por Deck.

Deck	Índices de FED			
	600 a 800 segundos		Final da Simulação	
Deck A	60%	$0 \leq \text{FED} < 0.3$	10%	$0 \leq \text{FED} < 0.3$
	30%	$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$	15%	$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$
	6%	$0.7 \leq \text{FED} < 1.0$	20%	$0.7 \leq \text{FED} < 1.0$
	4%	$\text{FED} \geq 1.0$	55%	$\text{FED} \geq 1.0$
Deck B	85%	$0 \leq \text{FED} < 0.3$	70%	$0 \leq \text{FED} < 0.3$
	15%	$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$	20%	$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$
	-	-	10%	$0.7 \leq \text{FED} < 1.0$
Deck C	90%	$0 \leq \text{FED} < 0.3$	85%	$0 \leq \text{FED} < 0.3$
	10%	$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$	15%	$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$
Deck D	100%	$0 \leq \text{FED} < 0.3$	80%	$0 \leq \text{FED} < 0.3$
			20%	$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$
Deck E	100%	$0 \leq \text{FED} < 0.3$	75%	$0 \leq \text{FED} < 0.3$
			25%	$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

Tabela 12 – Variação dos Níveis de FED entre 600 e 800s.

Ambiente	Índice de FED
Corredor Principal Deck A	$\text{FED} \geq 1.0$
Corredor Principal Deck B	$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$
Corredor Principal Deck C	$0 \leq \text{FED} < 0.3$
Corredor Principal Deck D	$0 \leq \text{FED} < 0.3$
Patamar A-B	$\text{FED} \geq 1.0$
Patamar B-C	$0.7 \leq \text{FED} < 1.0$
Patamar C-D	$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$
Patamar D-E	$0 \leq \text{FED} < 0.3$
Patamar E	$0 \leq \text{FED} < 0.3$

Fonte: Elaboração da Autora, 2018


No Anexo C deste documento são apresentados três momentos da simulação de incêndio com acompanhamento dos níveis de FED ao longo do corredor principal do Deck A.

Comparados os resultados obtidos com a simulação de incêndio e os referentes às simulações de evacuação, o que se pode constatar para cada cenário será exposto a seguir.

7.3.1 Efeitos do Incêndio para o Caso 1

No intervalo em que as simulações de evacuação para os quatro cenários considerados apresentaram as maiores taxas de congestionamento, observa-se que os agentes envolvidos na simulação de evacuação primária noturna não se encontram mais no deck A, que apresenta 40% da área do plano de corte a 1,56m de altura com temperaturas variando entre 120 e 320°C e índices de FED ultrapassando 0,3, quando os danos ao organismo dos seres humanos deixam de ser considerados irrelevantes, apresentando-se como o deck em condições mais críticas. Neste caso, o que se averiguou para este intervalo foi o aprisionamento de 19 tripulantes pelos demais andares da superestrutura: 8 agentes congestionados na passagem para o helideck, 6 agentes no patamar entre os decks D e E, 3 agentes no patamar entre os decks C e D, e 2 agentes no patamar entre os decks B e C. Os 14 agentes congestionados entre os decks D e E não enfrentam condições severas de temperatura e concentração de gases tóxicos. Os 3 agentes aprisionados entre os decks C e D, apesar de encontrarem temperaturas suportáveis, podem apresentar lesões leves decorrentes da exposição prolongada aos gases provenientes do incêndio. E os 2 agentes entre os patamares B e C provavelmente sairão do processo de evacuação com ferimentos graves por terem permanecido em ambientes que além de apresentarem temperaturas variando entre 50 e 120°C, contêm índices de FED entre 0,7 e 1,0. As condições ambientais nos pontos de congestionamento no caso de evacuação primária noturna, com os respectivos números de agentes congestionados e correspondentes danos à saúde encontram-se resumidos na Tabela 13.

Tabela 13 – Condições Ambientais nos Pontos de Congestionamento para o Caso 1.

AMBIENTE	TEMPERATURA (°C)	FED		FERIMENTOS
Patamar B-C	50 a 120 graus	$0.7 \leq \text{FED} < 1.0$	2	Graves
Patamar C-D	30 a 40 graus	$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$	3	Leves
Patamar D-E	20 a 25 graus	$0 \leq \text{FED} < 0.3$	6	Irrelevantes
Patamar E	23 a 25 graus	$0 \leq \text{FED} < 0.3$	8	Irrelevantes

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

Entretanto, este cenário está baseado nos pressupostos otimistas apontados em itens anteriores deste documento. O que se propõe neste ponto é uma projeção dos efeitos do incêndio sobre os agentes, caso o processo de evacuação tivesse iniciado após os 222 segundos estimados, em uma reflexão que pode ser estendida para os demais cenários analisados nesta pesquisa. Supondo que o processo decisório que culmina na deflagração da evacuação do navio durasse o dobro desse tempo, haveriam agentes congestionados também no deck A. Os resultados extraídos da simulação de incêndio apontam que o percentual da área total deste deck com índices de FED superiores a 1, passaria de 4% para 55%. Isto significa que os agentes congestionados no deck A, não sobreviveriam ao evento caso o processo de evacuação tivesse iniciado em torno de apenas 3 minutos após o tempo adotado para as análises deste trabalho. O deck B, que não apresentava originalmente regiões com índices de FED capazes de produzir lesões graves aos indivíduos, passa a exibir 10% da sua área nesta condição. Nos decks subsequentes, o que se observa são áreas maiores com potencial para gerar prejuízos à saúde dos evacuados, ainda que considerados leves. Nesta ponderação, há de se ressaltar que os 70 tripulantes seriam afetados nesta nova configuração, uma vez que o início do deslocamento de todos os agentes seria retardado. O acúmulo dos efeitos do incêndio sobre o organismo destes indivíduos, transitando pelas diferentes rotas ao longo dos decks em condições mais críticas, seria maior, levando a uma estimativa do tempo total para evacuação superior aos 988,5s, não somente pela dilatação do início do processo, mas pelo desempenho dos próprios evacuados.


7.3.2 Efeitos do Incêndio para os Casos 2 e 4

Os cenários diurnos analisados nas simulações de evacuação apresentaram pequenas variações entre os dois casos. O tempo total calculado para a evacuação primária diurna (870,8s) sofreu acréscimo de apenas 7,9 segundos para a evacuação secundária neste mesmo turno (878,7s). As regiões contendo pontos de congestionamento identificadas nos dois casos, foram exatamente as mesmas, diferindo em relação ao número máximo de agentes congestionados em cada ambiente: no caso 2, 5 agentes aprisionados por mais de 10% do tempo total de simulação entre os decks C e D, e no caso 4, 4 agentes; 6 agentes impossibilitados de progredir em relação a *muster station* no deck E, para o caso 2, e 4 agentes no caso 4. Por esta razão, os dois cenários estão apresentados simultaneamente neste item, para análise dos efeitos do

fogo e da fumaça correspondentes ao intervalo de 600 a 800 segundos de simulação de incêndio.

O que se observou nos cenários diurnos, apresentado na Tabela 14, foram consequências com grau de severidade baixo em relação à saúde dos evacuados. Indivíduos estacionados entre os decks C e D não encontrariam dificuldades para suportar as temperaturas verificadas neste local no tempo em que lá permaneceram, e os ferimentos ocasionados pela inalação de gases tóxicos neste período são considerados leves nesta região. Tripulantes parados em frente à passagem para o helideck estariam suscetíveis a lesões consideradas insignificantes, em um processo cujas características tornam-se mais severas a cada segundo postergado para o início da evacuação.

Tabela 14 – Condições Ambientais nos Pontos de Congestionamento para os Cenários Diurnos (Caso 2 e Caso 4).


					
AMBIENTE	TEMPERATURA (°C)	FED	C2	C4	FERIMENTOS
Patamar C-D	30 a 40 graus	$0.3 \leq FED < 0.7$	5	4	Leves
Patamar E	23 a 25 graus	$0 \leq FED < 0.3$	6	4	Irrelevantes

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

7.3.3 Efeitos do Incêndio para o Caso 3

O tempo calculado para a evacuação secundária noturna foi 1,2% maior que para a evacuação primária noturna, porém o número máximo de agentes congestionados foi 57,9% menor. Os 8 agentes impossibilitados de sair para o ponto de encontro no deck E, ficam submetidos a consequências leves decorrentes de temperaturas variando entre 23 e 25°C e índices de FED inferiores a 0,3 neste período. Os 4 agentes que permaneceram mais que 10% do tempo total de simulação de evacuação entre os decks C e D, ficarão suscetíveis a ferimentos leves, e os dois agentes aprisionados entre os decks B e C podem apresentar ferimentos graves.

Tabela 15 – Condições Ambientais nos Pontos de Congestionamento para o Caso 3.

AMBIENTE	TEMPERATURA (°C)	FED		FERIMENTOS
Patamar B-C	50 a 120 graus	$0.7 \leq \text{FED} < 1.0$	2	Graves
Patamar C-D	30 a 40 graus	$0.3 \leq \text{FED} < 0.7$	4	Leves
Patamar E	23 a 25 graus	$0 \leq \text{FED} < 0.3$	8	Irrelevantes

Fonte: Elaboração da Autora, 2018

8 Conclusões

O objetivo de fornecer um estudo que comprovasse a eficácia de utilização de uma ferramenta de simulação de evacuação desenvolvida para navios de passageiros adaptada para navios de carga foi alcançado. A capacidade de adequação do modelo às características dos embarcados em navios de carga, diferindo dos embarcados em navios de passageiros em relação a treinamentos, nível de conhecimento da embarcação, faixas etárias, proporção entre gêneros, dentre outros fatores, permitiu uma representação realista do comportamento destes em um processo de evacuação. Ficou evidenciado que autoridades marítimas já podem estabelecer tempos e procedimentos a serem aplicados em processos de evacuação de navios de carga, validados por análises como as desenvolvidas neste trabalho, segundo a perspectiva e cooperação de especialistas em segurança naval, na tentativa de reduzir o crescente número de mortes em acidentes com esse tipo de navio. Normas similares às desenvolvidas para navios de passageiros, com orientações em relação às análises de evacuação ainda na fase de projeto, já podem ser concebidas para navios de carga através da utilização de simuladores como os aqui apresentados. A experiência de profissionais atuantes em navios de carga e análises de riscos aliadas à multiplicidade de cenários possíveis de serem gerados pelas ferramentas computacionais, são capazes de proporcionar diagnósticos confiáveis em relação aos fatores que tornam os processos de evacuação malsucedidos. O software utilizado nesta pesquisa já mostrou flexibilidade suficiente para aplicação em plataformas *offshore*, navios militares e agora para navios de carga, não havendo necessidade de postergar ainda mais providências legais que podem reduzir o número de vítimas fatais nos inevitáveis acidentes marítimos em decorrência de evacuações desastrosas.

PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A principal dificuldade encontrada no desenvolvimento deste trabalho foi a integração entre a simulação de incêndio e a de evacuação. A proposta desta pesquisa era a de analisar a evacuabilidade de um navio de carga em situação de emergência, e o software de evacuação utilizado com este propósito não apresentou eficiência ao importar os dados gerados pelo simulador de incêndio. O cruzamento de informações derivadas dos dois simuladores dificultou as análises, não apenas pelo maior tempo requerido, como pelas aproximações necessárias. Propõe-se para trabalhos futuros o

desenvolvimento de um modelo que consiga realizar a importação de dados com o menor nível de distorções possível.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, J.M.A., **Manual de Segurança no Trabalho a Bordo dos Navios**, 1ª ed., SINCOMAR, 2013.

ANDO K., OTA H., OKI T., "Forecasting the Flow of People", **Railway Research Review**, (45) pp. 8-14, 1998.

ARNOLD & ITKIN LLP, History of Offshore Accidents, 2017, Disponível em <http://www.oilrigexplosionattorneys.com/Oil-Rig-Explosions/History-of-Offshore-Accidents.aspx>. Acesso em 07 de setembro de 2017, 13:00:00.

AZZI, C., VASSALOS, D., "Design for Shipboard Fire Hazards Assessment", **10th International Marine Design Conference (IMDC)**, Trondheim, vol. 1, pp. 476-488, 2009.

AZZI, C., PENNYCOTT, A., MERMIRIS, G., VASSALOS, D., "Evacuation Simulation of Shipboard Fire Scenarios". **Fire and Evacuation Modeling Technical Conference 2011**, Baltimore, Maryland, Aug. 2011.

BARBARINI, L.H.M., **Análise de Riscos para Embarcações com Sistema de Alarmes com Foco nos Fatores Humanos e Organizacionais**, Tese de D.Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2012.

CORREA, R.P.C., JUNIOR, M.M.C., "Análise e Classificação dos Fatores Humanos nos Acidentes Industriais". ISSN 0103-6513, São Paulo, Abr. 2007.

DALEY, J., "Mumbai High North Platform Disaster", **Coastal and Ocean Engineering Undergraduate Student Forum**, Canada, Mar. 2013.

DEERE, S.J., GALEA, E.R., LAWRENCE, P.J., "A Systematic Methodology to Assess the Impact of Human Factors in Ship Design", **Applied Mathematical Modelling**, v. 33, pp. 867-883, Dec. 2007.

EVE / EVI Evacuation Simulation Software, **University of Strathclyde and Safety at Sea Ltd**, Glasgow UK, 2008.

FRUIN, J., "Pedestrian Planning and Design", **Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners**, New York, 1971.

FSS, **International Code for Fire Safety Systems**, 2007.

GALANTE, E.B.F., “Princípios de Gestão de Riscos”, 1ª ed. Curitiba, Appris, 2015.

GALEA, E.R., DEERE, S.J., SHARP, G., FILLIPS, L., LAWRENCE, P.J., GWYNNE, S., “Assembly Time Analysis Based on Data Derived from Sea Trials”, **International Journal of Maritime Engineering**, ISSN 14798751, 2007.

GRANDISON A., S.J., DEERE, S., LAWRENCE, P., GALEA, E.R. “The use of confidence intervals to determine convergence of the total evacuation time for stochastic evacuation models”, **Ocean Engineering**, v. 146, pp 234-245, Dec. 2017.

GUARIN L., MAJUMDER J., PUISA R., **Human Life Safety – Quantitative risk Analysis**, SAFEDOR Report, 2007.

GUARIN L., MAJUMDER J., SHIGUNOV V., VASSALOS D., “Fire and Flooding Risk Assessment in Ship Design for Ease of Evacuation”, **Proceedings of the 2nd International Conference on Design for Safety**, Japan, Oct. 2004.

GWYNNE, S., GALEA, E.R., OWEN, M. LAWRENCE, P.J., FILIPPIDIS, L., “A Review of the Methodologies Used in the Computer Simulation of Evacuation from the Built Environment”, **Building and Environment**, v. 34, pp. 741-749, Oct. 1998.

IMO, disponível em <https://ajonu.org/2012/10/17/organizacao-maritima-internacional-imo/>. Acesso em 09 Set. 2017, 10:31:00.

IMO/SOLAS, **International Convention for the Safety of Life at Sea**, London, UK, 1974. Consolidated edition 2011.

IMO/SOLAS, **IMO Sub-committee on Fire Protection 51st session**, 08 May 2007.

JORDÃO, D.M., **Manual de Instalações Elétricas em Indústrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo**, 3ª ed. Rio de Janeiro, Qualitymark Editora, 2002.

LOZOWICKA, D., “Organization of Evacuation from Passenger Ships – A Concept of Safety Enhancement”, **Maritime University of Szczecin**, 32(104) z. 2 pp. 110-114, 2012.

McGRATTAN, K., McDERMOTT, R., WEINSCHENK, C. *et al.*, **Fire Dynamics Simulator User's Guide**, Special Publication 1019, 6 ed. United States, National Institute of Standards and Technology (NIST), 2013.

MSC.1/Circ.909, **Maritime Safety Committee – Interim Guidelines for a Simplified Evacuation Analysis on Ro-Ro Passenger Ships**, 04 Jun. 1999.

MSC.98(73), **Maritime Safety Committee – Adoption of the International Code for Fire Safety Systems**, 05 Dec. 2000.

MSC.1/Circ.1001, **Maritime Safety Committee – Interim Guidelines for a Simplified Evacuation Analysis of High-Speed Passenger Craft**, 26 Jun. 2001.

MSC.1/Circ.1033, **Maritime Safety Committee – Interim Guidelines for Evacuation Analysis for New and existing Passenger Ships**, 06 Jun. 2002.

MSC.1/Circ.1166, **Maritime Safety Committee – Guidelines for a Simplified Evacuation Analysis of Hih-Speed Passenger Craft**, 27 Jun 2005.

MSC.1/Circ.1238, **Maritime Safety Committee – Guidelines for Evacuation Analysis for New and existing Passenger Ships**, 30 Oct. 2007.

MSC.1/Circ.1533, **Maritime Safety Committee – Revised Guidelines on Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships**, 06 Jun. 2016.

NOMENCLATURA NAVAL, Sobena, 2015. Disponível em www.sobena.org.br/wp-content/uploads/2015/07/Nomenclatura-do-Navio.pdf. Acesso em 25 Fev. 2017, 15:03:00.

NORMAM 01/DPC, **Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto**, Rio de Janeiro Brasil, 2005.

OIL RIG DISASTERS, 2017. Disponível em: http://members.home.nl/the_sims/rig/losses.htm. Acesso em 18 Mar. 2017, 10:10:00.

PARK, J. H., LEE, D., KIM, H., YANG, S. Y., “Development of Evacuation Model for Human Safety in Maritime Casualty”, **Ocean Engineering**, v. 31, n. 11-12, pp. 1537-1547, Nov. 2004.

PONTE JR, G. P., **Gerenciamento de Riscos Baseado em Fatores Humanos e Cultura de Segurança**, 1ª ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2014.

PONTE JR, G. P., **Gerenciamento de Riscos, Cultura de Segurança e Fatores Humanos para Simulação Computacional de Escape e Abandono em Instalações Offshore**, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.

REGRAS PARA CONSTRUÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE NAVIOS. Disponível em: http://www.ufpe.br/engnaval/images/pdf/.../Rbna/rbna_2008_part2a.pdf. Acesso em 18 Nov. 2016. 18:00:00.

RIVERA, M.R.M., **Metodologia para Análise Computacional do Comportamento de Estruturas Offshore sob Incêndio Localizado Tipo Poça**, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.

- ROTHBLUM, A.M., **Human Error and Marine Safety**, National Safety Council Congress and Expo, EUA, 2000.
- SANTOS, M.G.F., **Análise de Acidentes com Embarcações em Águas sob Jurisdição Brasileira – Uma Abordagem Preventiva**, Dissertação de M.Sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.
- SICURO, D.L.L., **Apoio à Decisão por Simulação de Evacuação de Pessoal em Navios Militares sob Avaria**, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.
- SILVA, S.R.L., **Análise de Acidentes de Incêndio e Explosão em Navios**, Dissertação de M.Sc., Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2016.
- SOARES, P.S., VIDAL, M.C., “Instrução da demanda junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial”, Proposta COPPETEC pp. 4408, Brasil, 2005.
- SYMPHONY OF THE SEAS, Royal Caribbean, Disponível em: <https://www.logitravel.pt/cruzeiros/royal-caribbean/ficha-symphony-of-the-seas-17947712.html>. Acesso em 28 Out. 2017. 13:44:00.
- TEIXEIRA, A.P., ANTÃO, P. SOARES, C.G., “Análise e Gestão de Riscos na Indústria Marítima”, Instituto Superior Técnico, pp. 761-776, Lisboa, Portugal, 2005.
- VASSALOS, D. L., GUARIN, L., BOLE, M., MAJUMDER, J., VASSALOS, G.C., KIM, H.S., “Effectiveness of Passenger Evacuation Performance for Design, Operation and Training Using First-Principles Simulation Tools”, **Lloyds Lists Events**, Londres, Mar. 2004.
- VASSALOS, D., GUARIN, L., VASSALOS, G., *et al.*, "Advanced Evacuation Analysis - Testing Ground on Ships". In: **Proceedings of the 2nd International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics**, pp. 234–246, Greenwich, London, Aug. 2003.
- VASSALOS, D., KIM, H., CHRISTIANSEN, G., MAJUMDER, J., "A Mesoscopic Model for Passenger Evacuation in a Virtual Ship-Sea Environment and Performance-Based Evaluation". **Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics**, Duisburg, Germany, Jun. 2001.
- VASSALOS, D., “Shaping Ship Safety: The Face of the Future”, UK, **Journal of Marine Technology**, v. 36, n. 2, pp 61-74, Apr. 1999.
- XIAOPING, Z., TINGKUAN, Z., MENGTING, L., "Modeling Crowd Evacuation of a Building Based on Seven Methodological Approaches", **Building and Environment**, v. 44, n. 3, pp. 437-445, Mar. 2009.
- WAGENAAR, W. A., GROENEVEG, J., " Accidents at sea: Multiple causes and impossible consequences", **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 27, n. 5-6, pp. 587-598, Nov. 1987.

Anexo A – Questionário Aplicado aos Profissionais da Indústria Naval Nacional

QUESTIONÁRIO SEGURANÇA NAVAL

Sexo: FEMININO ☐ MASCULINO ☐

Idade:

Escolaridade:

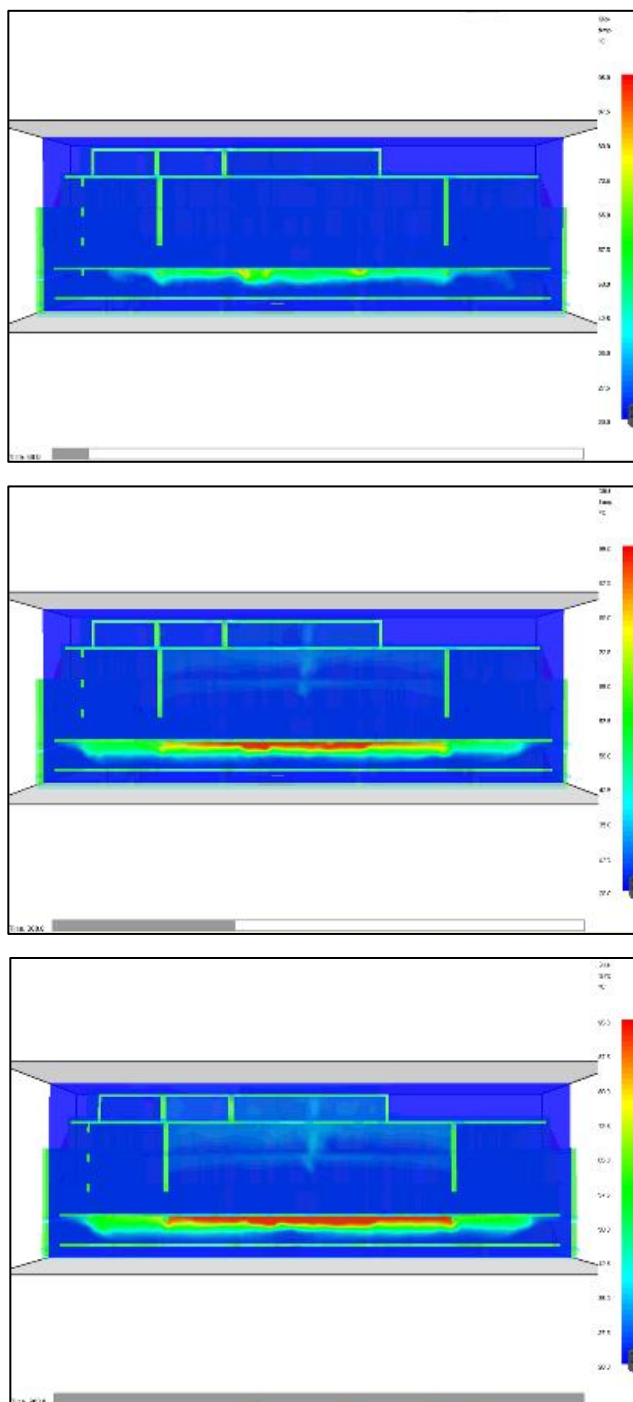
Empresa:

Cargo:

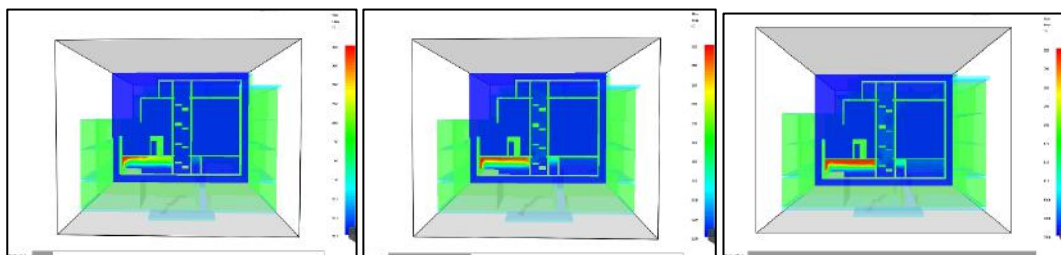
- (1) Você já participou de treinamentos para situações de emergência em navios?
- (2) Como são planejados os treinamentos para evacuação de navios na empresa em que você trabalha?
- (3) Você já esteve presente em alguma emergência real em navios na qual houvesse a necessidade de evacuação do mesmo?
- (4) Você considera a sinalização empregada no navio em que trabalha eficaz?
- (5) Você considera a iluminação do navio em que trabalha adequada para situações de emergência?
- (6) Em situações de emergência reais ou durante um treinamento, pôde perceber reações inesperadas por parte dos outros trabalhadores?
- (7) Você acredita que as normas relacionadas às situações de emergência em navios levam em consideração o maior número possível de fatores envolvidos?
- (8) Você julga importante levar em consideração fatores humanos ainda na fase de projetos de navios?

Anexo B –Variação de Temperatura para Incêndio Deflagrado na Cozinha

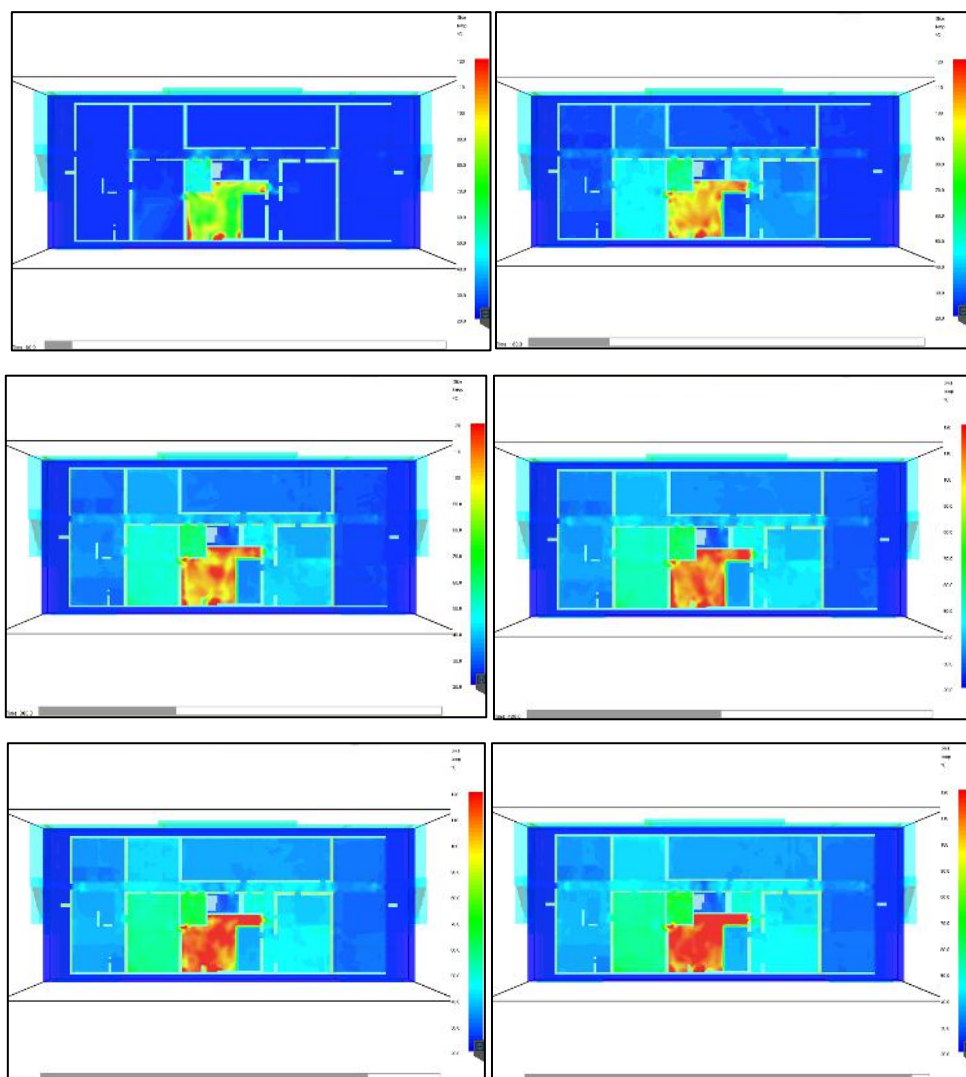
Variação de temperatura ao longo do plano horizontal passando pelo corredor principal (cortando o eixo x).



Variação de temperatura ao longo do plano passando pela cozinha (cortando o eixo y).



Variação de temperatura ao longo do plano horizontal passando pelo Deck A, a 1,56m do chão (cortando o eixo z) - vista superior.



Anexo C – Índices de FED ao Longo do Corredor Principal do Deck A

